

Bindseil



<3660638751OO13

Akustik

mit sorgfältiger

Berücksichtigung der neuern Forschungen

bearbeitet

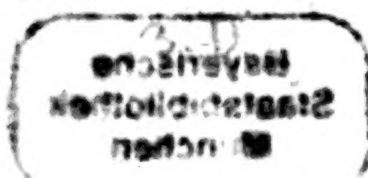
von

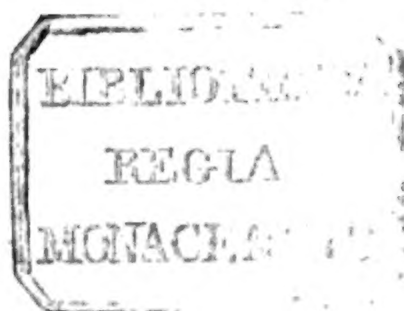
Dr. *Heinrich Ernst Bindseil.*

Potsdam, 1839.

Verlag der Horvath'schen Buchhandlung.

(J. E. Witte.)





SEINER EXCELLENZ

DEM

HERRN

FREIHERRN v. STEIN ZUM ALTENSTEIN,

KÖNIGLICH PREUSSISCHEN

WIRKLICHEN GEHEIMEN STAATSMINISTER

UND

MINISTER DER GEISTLICHEN, UNTERRICHTS-

UND

MEDIZINALANGELEGENHEITEN,

RITTER DES SCHWARZEN ADLERORDENS

UND DES

EISERNEN KREUZES

EHRFURCHTSVOLL GEWIDMET

VON DEM

VERFASSER.

Vorwort.

Indem ich diese Schrift dem Publicum übergebe, halte ich es für nöthig, der in der folgenden Inhaltsanzeige dargebotenen Übersicht des dabei befolgten Planes noch einige Bemerkungen hier vorauszuschicken. Ausdrücklich erkläre ich zuvörderst, dass dabei keine eigenen neuen akustischen Experimente zum Grunde liegen, desto sorgfältiger aber überall die von Andern angestellten beachtet, und theils nach den von ihnen selbst daraus gezogenen Resultaten, theils nach den von mir daraus gefolgerten gehörigen Ortes erwähnt sind. Jeder Kenner dieser Wissenschaft weiss, wie Vieles zwar schon der ausgezeichnete Chladni in seinem classischen Werke der Akustik und den von ihm dazu gelieferten Nachträgen geleistet hat, wie Vieles aber seitdem von andern trefflichen Forschern in diesem Gebiete entdeckt ist, so dass manche Theile des-

selben, die von jenem nur kurz berührt sind, durch die neuern Untersuchungen eine ganz andere Gestalt erhalten haben, wobei ich nur an die reichhaltigen Forschungen von H. und W. Weber, Marx, Strehlke, Joh. Müller, Savart, Poisson, Cagniard de Latour, Biot, Faraday, Wheatstone u. A. zu erinnern brauche. Die Resultate aller dieser Forschungen, wenigstens die, welche mir als die wichtigsten erschienen, aus den verschiedenen Abhandlungen, in denen sie enthalten sind, zu sammeln und systematisch zu verarbeiten, war die Aufgabe, die ich mir stellte. In wie weit es mir gelungen ist, so ein, dem jetzigen Zustande dieser Wissenschaft entsprechendes System derselben aufzustellen, mögen Kenner beurtheilen; versichern aber darf ich, dass ich keine Mühe gespart habe, um wenigstens, so weit es meine Kräfte gestatteten, dem mir gesteckten Ziele mich zu nähern. Die mathematischen Formeln wurden von dieser Schrift absichtlich ausgeschlossen, theils um stets allgemeinere Verständlichkeit zu erreichen, theils auch um nicht den Umfang dieses Buches dadurch bedeutend zu erweitern. Wer aber dergleichen für irgend einen Theil dieser Wissen-

schaft sucht, wird sie in den hierbei angeführten Schriften finden. Die Theorie der durch die Stimmwerkzeuge lebendiger Wesen hervorgebrachten Töne, die in andern akustischen Schriften kurz berührt ist, habe ich hier ganz weggelassen, weil ich durch eine ausführliche Behandlung dieses Gegenstandes, die wegen seiner bedeutenden Schwierigkeit allein wahrhaft nützen kann, diese Schrift zu sehr auszudehnen besorgte. Ich verweise daher diejenigen, welche sie hier vermissen, auf meine »Abhandlungen zur allgemeinen vergleichenden Sprachlehre (Hamburg, 1838, bei Friedr. Perthes)«, wo ich dieselbe in meiner Physiologie der Stimm- und Sprachlaute S. 33—209. aufzustellen versucht habe.

Das beigefügte vollständige Register wird die Aufsuchung der in diesem Buche behandelten Gegenstände möglichst erleichtern und seinen Inhalt specieller darlegen.

Diesen einleitenden Bemerkungen füge ich noch einige Nachträge bei, welche sich mir seit dem Drucke dieser Schrift dargeboten haben.

Nachträge.

Zu S. 8. Die Angabe von 8192 Schwingungen in 1 Secunde als Maximum der Schnelligkeit findet man bei Biot: Lehrbuch der Experimental-Physik. 2. Aufl. d. deutsch. Bearb. v. Fechner Bd. II. (Leipzig, 1829. bei Voss.) S. 21. — Etwa eben die Zahlen, welche Young angibt (18000—20000), würden aus Wollaston's Angabe, dass die höchsten wahrnehmbaren Töne aus 600—700 Mal schnellern Schwingungen hervorgehen als die tiefsten noch hörbaren Töne, gefolgert werden können. Nimmt man nämlich an, dass die letztern aus 30 einfachen Schwingungen in 1 Secunde entspringen, so folgt daraus, dass, nach Wollaston, die Grenze in der Höhe bei 18000—21000 einfachen Schwingungen in 1 Sec. liege. S. Fechner: Repertorium der Experimental-Physik. Bd. I. (Leipzig, 1832. bei Voss.) S. 336.

— Zu Note 3. S. auch Fechner: Repert. I. S. 339—41., welcher einen Auszug aus Savart's Abhandl. hierüber gibt.

Zu S. 9. Mit den hier erwähnten Bestimmungen Savart's vgl. auch Poggendorff's Annal. d. Phys. Bd. 20. (96.) S. 290 ff.

— Zu Note 11. Vgl. Fechner: Repert. I. S. 335—39.

Zu S. 10. β. Vgl. Froriep's Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde Bd. VI. 1824. S. 146.

Zu S. 17. Note 31. Ausführlicher handelt über diese wichtige Erscheinung W. Weber in d. Aufs.: »Über Unterbrechung der Schallstrahlen in der transversal schwingende Stäbe und Gabeln umgebenden Luft«, in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. 18. (48.) S. 385 ff. Vgl. auch Bd. 16. (46.) S. 108—112. den Aufs.: »Über Polarisation des Schalles in einem andern Sinne als dem Wheatstone'schen.«

Zu S. 24. Z. 6. v. u. W. Weber nennt diese Töne auch *Falsettöne* in Poggendorff's Annal. Bd. 28. (104.) S. 4. 8. Über die gewöhnliche Bedeutung dieses Wortes bei der menschlichen Stimme s. meine Physiologie der Stimmlaute in meinen Ab-

handl. zur allgem. vergleichenden Sprachlehre (Hamburg, bei Fr. Perthes. 1838.) S. 195 ff. — Den Namen *Nebentöne* findet man auch in Fischer's Abh. »Über die Grundlehren der Akustik«, in den Abh. der Berlin. Akad. der Wissensch. v. J. 1824. Phys. Klasse S. 87. — Den Namen *Flageolettöne* s. auch bei Biot a. a. O. Bd. II. S. 30. Ausführlich handelt über die Flageolettöne J. G. Maass in der Leipzig. allgem. musikal. Zeitung. Jahrg. XVII. S. 477 ff., auch J. H. Küster ebend. Jahrg. XXI. S. 701 ff. u. Jahrg. XXII. S. 437 ff. vgl. auch J. Müller: Handbuch der Physiologie des Menschen Bd. II. Abth. I. (Coblenz, b. Hölscher. 1837. 8.) S. 136. — Den Namen *harmonische Töne* s. auch bei Biot a. a. O. II. S. 30.

Zu S. 26. Note 32. Während v. Dalberg das Erscheinen mitklingender höherer Töne auf Metallsaiten beschränkt, beschränkt es Fischer auf gewisse Erregungsarten der Schwingungen, denn nach s. Abh. »Über die Grundlehren der Akust.«, in d. Abh. der Berlin. Akad. d. Wissensch. 1824. Phys. Kl. S. 88. findet dieses Mittönen höherer Nebentöne bei den Saiten nie Statt, wenn der Ton durch Streichen mit dem Bogen erregt wird. — Nach Biot findet keine dieser beiden Beschränkungen Statt; er sagt nämlich a. a. O. II. S. 31.: »Sehr brauchbar sind hierzu (nämlich das gleichzeitige Vorhandensein des Grundtons und harmonischer Töne an schwingenden Saiten leichter bemerklich zu machen,) die dicken Saiten eines Basses. Setzt man eine solche Saite durch einen gut ausgehaltenen Bogenstrich in starke Schwingung, und überlässt sie dann sich selbst, so unterscheidet das mindest geübte Ohr deutlich die ersten Glieder in der Reihe der harmonischen Töne; und hat man sich erst gewöhnt, die gleichzeitig erklingenden Töne so zu unterscheiden, so nimmt man sie auch bei den Saiten aller andern musikalischen Instrumente wahr.« Eben so findet auch keine jener beiden Beschränkungen nach G. Weber Statt, indem er in d. A. Beitöne, in d. Hall. Encycl. der Wissensch. u. Künste, herausg. v. Ersch u. Gruber. Sect. I. Th. VIII. S. 380. sagt: »Es ist sehr merkwürdig, dass auch bei ganz freier Schwingung einer Saite, zugleich mit dem dadurch hervorgebrachten Grundtone, nebenbei auch manche Beitöne hörbar werden. Wenn man z. B. die tiefste Saite eines Violoncells oder Contraviolons, oder auch eines Fortepiano, anstreicht, anzupft oder anschlägt, so vernimmt man, bei genauer Aufmerksamkeit, nicht allein ihren Hauptton, den Ton 1, sondern neben und in dem-

selben hört man auch noch dessen Octave (2), und auch wohl deren Quinte (3).« Vgl. auch **Baumgartner**: Die Naturlehre. 3. Aufl. (Wien, 1829. b. **Heubner**) S. 256.

Zu S. 27. Über mitklingende höhere Töne bei *Stäben* s. S. 195. 223 f. — Auch bei gespannten *Membranen* von Kautschuk kann eine solche Coëxistenz mehrerer Töne eintreten, s. S. 281 f. — Über tiefere Beitöne bei *Luftsäulen* bemerkt **Biot** a. a. O. II. S. 108.: »In den Pfeifen, offenen sowohl als gedeckten, können, eben wie bei schwingenden Saiten, mehrere verschiedene Schwingungsarten gleichzeitig vorhanden sein, und in der nämlichen Luftsäule so zu sagen auf einander fallen; denn gibt man irgend einen, durch n ausgedrückten, Ton an, so hört man oft mit ihm zugleich einen der tiefern Töne erklingen, welche geringern Zahlen als n entsprechen. Dieses wird vorzüglich bemerklich bei den Übergängen von einer Schwingungsart zu einer andern, wenn man sie nach und nach durch veränderliche Aufschnittsöffnungen hervorbringt.« Über höhere Beitöne bei Luftsäulen vgl. S. 134.

Zu S. 31. a. Nach W. **Weber** in **Poggendorff**'s Annal. Bd. 15. (91.) S. 13. sind die höchsten Töne, wenn sie Longitudinaltöne sind, viel voller und wohlklingender, als wenn sie durch transversale Schwingungen hervorgebracht werden.

— Zu b. aa. Die Ursache der hier erwähnten Verschiedenheit der Resultate H. und W. **Weber**'s von denen **Chladni**'s gibt W. **Weber** in **Schweigger**'s und **Schweigger-Seidel**'s Jahrb. Bd. XV. S. 284. an.

Zu S. 33. Z. 7—9. v. u. Das Genauere über den Gebrauch der Ausdrücke *tangential* und *normal* s. S. 136 ff. 141. 151 f. 285 ff. 291 ff. 295 ff. 298 ff.

Zu S. 34. Z. 8. v. o. Diese Abtheilung εε. ist so zu ergänzen:

εε) von Seiten des *Ursprungs*. In dieser Hinsicht theilt man die Schwingungen ein

a) in *primäre* und *secundäre*. So H. und W. **Weber**, denen Andere gefolgt sind.

b) in *ursprüngliche* und *mitgetheilte*. So F. G. **Fischer** (in s. Abh. »Über die Grundlehren der Akust.«, in d. Abh. der Berlin. Akad. d. W. 1824. Phys. Kl. S. 85 ff.). *Ursprünglich* nennt er eine Schwingung, wenn ein einzelner Punkt irgend eines Körpers durch einen äussern Druck oder Zug in schwingende Bewegung gesetzt

wird. *Mitgetheilt* nennt er sie, wenn ein ruhender Punkt durch unmittelbare Berührung eines schon schwingenden mit zu schwingen genöthigt wird, wobei es weiter keinen Unterschied macht, ob der mittheilende Punkt ursprünglich oder selbst schon durch Mittheilung schwingt. An sich können mitgetheilte Schwingungen keine andern Gesetze befolgen als ursprüngliche. Nur in der Vibrationsweite kann zwar eine, aber nur im eigentlichsten Sinne unendlich kleine Veränderung vorgehen. Dessen ungeachtet müssen beide Arten von Schwingungen scharf geschieden werden, wenn man zu deutlichen Begriffen und Erklärungen über akust. Erscheinungen gelangen will. Denn die Dauer und die Grösse der Schwingungen stehen in einer sehr verschiedenen Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Mittels, in welchem sie Statt finden, jenachdem sie ursprünglich oder mitgetheilt sind. Wenn Theile eines Körpers durch einen äussern Druck oder Zug zu schwingen genöthigt werden, so hängt (bei diesen ursprünglichen Schwingungen) die *Dauer* einer Schwingung ganz und gar nicht von der Stärke des erregenden Anstosses ab, sondern lediglich von der *Kraft, mit welcher die verschobenen Theile wieder in ihre natürliche Lage zurückgetrieben werden, also von der vorhandenen Spannung und von der Masse der verschobenen Theile.* Von der Stärke des Stosses hängt bloss die Grösse der Schwingungsweite ab, durch welche aber die Dauer der Schläge und die Höhe des Tones nicht geändert wird. Der wichtigste Unterschied zwischen ursprünglichen und mitgetheilten Oscillationen liegt darin, dass die *Dauer einer mitgetheilten Oscillation von der Spannung und Dichtigkeit, kurz von der Beschaffenheit des Mittels, in welchem sie erregt wird, völlig unabhängig und in jedem Falle der mittheilenden Oscillation gleichzeitig ist.* Jedermann weiss, *dass die Höhe eines Tones nicht die geringste Veränderung erleidet*, der Ton pflanze sich durch die Luft auf einem kurzen oder langen Wege fort, er dringe durch dünne oder dicke Wände, oder überhaupt durch Körper von ganz beliebiger Beschaffenheit. Schwächer wird wohl der Ton durch die Fortpflanzung (weil seine Oscillationsweiten sich allmälig verkürzen), aber seine Höhe

verändert sich nicht, also auch nicht die Dauer der Oscillationen. Mit dieser Behauptung, dass eine mitgetheilte Oscillation in Ansehung der *Dauer* jedes Schlages (Schwingung) von der Beschaffenheit des Mittels unabhängig ist, wird aber nicht gesagt, dass sie *in jeder Beziehung* davon unabhängig sei. Es lässt sich in der That in mehr als einer Rücksicht eine Abhängigkeit nachweisen. Besonders gehört dahin *die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Oscillationen von Punkt zu Punkt fortpflanzen*; denn diese ist von der Geschwindigkeit, mit welcher die oscillirenden Punkte ihre kleine Bahn zurücklegen, völlig unabhängig und ohne Vergleich grösser als diese. Diese Geschwindigkeit der Fortpflanzung ist lediglich eine Function von der im fortpflanzenden Mittel herrschenden Spannung, sie ist also lediglich durch die Beschaffenheit des fortpflanzenden Mittels bestimmt. Alle Mittheilung der Oscillationen geschieht durch den Stoss. Bei der Mittheilung der Oscillationen zwischen ungleichartigen Mitteln verändert sich die Grösse der Oscillationsweiten, die Stärke des Schalles (und vielleicht auch die Art, wie sich die Schallstrahlen im Innern des Körpers verbreiten), s. Fischer a. a. O. S. 108 ff. Dasselbe gilt von den aus dichtern Luftschichten in dünnere, noch mehr aber von den aus dünnern in dichtere Luftschichten übergehenden Schallwellen, s. Biot a. a. O. II. S. 10. — Dass man die Dauer einer Oscillation von der Geschwindigkeit ihrer Fortpflanzung unterscheiden müsse, erhellet auch daraus, dass alle Töne, tiefe und hohe, starke und schwache, mit gleicher Geschwindigkeit fortgepflanzt werden, s. Biot II. S. 7 ff.

Zu S. 38. b. Wie die Verbreitung eines Schalles namentlich in der Luft vor sich gehe, darüber s. Chladni: die Akustik. (Leipzig, b. Breitkopf u. Härtel. 1802. 4.) S. 215 ff. — Baumgartner a. a. O. S. 232 ff. u. Supplbd. S. 332 ff. — Fischer a. a. O. S. 93 ff. — Biot II. S. 5 ff.

Zu S. 39. bb. Poggendorff's Annalen der Physik Bd. 8. (84.) S. 525 f.: »*Ein Fall der weiten Verbreitung des Schalles.* Die ungemeine Leichtigkeit, mit der ein Schall bei kaltem Wetter in beträchtlichen Entfernungen gehört wird, ist oft ein Gegenstand der Aufmerksamkeit gewesen. Ein Fall dieser Art er-

eignete sich (auf der dritten Nordpol-Expedition des Capt. Parry) zu Port Bowen, der bemerkenswerth ist, da er gewissermassen einen Maassstab für diese Leichtigkeit gibt. Lieutenant Forster nämlich, welcher von dem Observatorium einen Mann nach dem gegenüberliegenden Ufer des Hafens gesandt hatte, um dort ein Meridianzeichen zu errichten, konnte mit diesem ohne Umstände eine Unterredung führen, obgleich die Entfernung zufolge einer Messung 6696 engl. Fuss oder 1,2 engl. Meilen betrug. (Aus den Ann. of Ph. XX. 470. Th. Young führt indess in seinen Lect. of nat. Phil. T. II. p. 266. unter Derham's Namen an, dass man zu Gibraltar die menschliche Stimme auf mehr als 10 engl. Meilen gehört habe, und dieser Fall wäre dann von dem zuvor genannten wenigstens nicht übertroffen.)«

Zu S. 40. Z. 8. v. o. Das *Wasser* pflanzt den Schall auf grosse Entfernungen fort. Franklin versichert, dass man das Geräusch von 2 an einander geschlagenen Kieselsteinen noch weiter als ½ engl. Meile unter Wasser hören könne, s. Poggendorff's Annal. Bd. 12. (88.) S. 175. vgl. S. 177 ff. — Biot II. S. 4.

Zu S. 41. Z. 1 ff. v. o. Über die *Geschwindigkeit* der Fortpflanzung des Schalles a) in *festen Körpern* vgl. Biot II. S. 4. — Baumgartner: Naturl. S. 237., Supplbd. S. 370. 1012. — Poggendorff's Annal. Bd. 13. (89.) S. 395 ff. Bd. 26. (102.) S. 251 ff.; b) in *tropfbar flüssigen Körpern*, s. Poggendorff's Annal. Bd. 12. (88.) S. 171 ff. Bd. 28. (104.) S. 239. — Baumgartner: Naturl. S. 237., Supplbd. S. 368 f. 1011.; c) in *elastisch flüssigen Körpern*, s. Gilbert's Annal. d. Phys. Bd. 21. S. 437—48. 449—55. Bd. 37. (oder neue Folge Bd. 7.) S. 221—5. Bd. 42. (N. F. Bd. 12.) S. 1—11. 12—29. 156 ff. — Poggendorff's Annal. Bd. 5. (81.) S. 351 ff. 469 ff., Bd. 14. (90.) S. 371 ff. Bd. 16. (92.) S. 202 ff. 455 ff. Bd. 17. (93.) S. 236 ff. Bd. 19. (95.) S. 115 ff. — Baumgartner: Naturl. S. 237 f. — Biot II. S. 15 ff. — Fechner: Repert. I. S. 244 ff.

Zu S. 42. Z. 15. v. o. Über die *Stärke* der Fortleitung des Schalles im *Wasser* vgl. Poggendorff's Annal. Bd. 12. (88.) S. 177—179. Die Intensität der Schallleitung wird im Wasser merklich vermindert durch einen zwischen dem schallenden Körper und dem Hörer im Wasser befindlichen Gegenstand (eine Mauer). Dadurch weicht die Fortpflanzung des Schalles im Wasser von der in der Luft Statt findenden ab und nähert

sich der Fortpflanzungsart des Lichts, s. a. a. O. S. 189. — Quecksilber leitet den Schall stärker als Wasser.

Zu S. 43. Bei der Fortleitung des Schalles durch *mehrere Medien* kommt es an a) auf das *gegenseitige Verhältniss ihrer Qualität.* Sind sie ungleichartig, so ist die Fortpflanzung des Schalles immer unvollkommen, weil dann stets der Schallstrahl an der Trennungsfläche der Medien in 2 Theile zerlegt wird, wovon nur der eine in das ungleichartige Mittel eindringt, der andere aber zurückgeworfen (reflectirt) wird, vgl. Baumgartner: Supplbd. S. 349. Daraus erklärt sich, warum die Töne solcher Instrumente, in welchen bloss eine Luftsäule der selbsttönende Körper ist, wie bei der Flöte, nur mit einem sehr grossen Verlust an Stärke einem festen Leiter mitgetheilt werden. Wird z. B. das Ende eines Leitdrahts in den am stärksten schwingenden Theil der Luftsäule einer Flöte gebracht, so findet eine nur schwach hörbare Fortleitung der Töne Statt; lässt man aber den Draht die Seitenwand des Instruments berühren, so wird er, da diese in Schwingungen geräth, die Töne leichter fortleiten. Jedoch sind sie selbst in dem letztern Falle kaum hörbar, wenn nicht das Ohr dicht an das resonirende Instrument, mit dem das andere Ende des Drahts in Verbindung gesetzt ist, gehalten wird. Dagegen bei den Blasinstrumenten von der Classe der Zungenpfeifen, die also ausser der schwingenden Luftsäule zugleich eine schwingende Zunge enthalten, lassen sich die Töne mittelst eines an der Zunge befestigten Drahtes zu einem Resonanzboden eben so vollkommen fortleiten wie bei mit Resonanzböden verbundenen Saiteninstrumenten, s. Wheatstone's Versuche in Poggendorff's Annal. Bd. 26. (102.) S. 262 ff. — Ausserdem kommt es an b) auf den *Winkel, unter welchem der Schall aus dem einen Medium in ein anderes übergeht*, um zu dem Ohre zu gelangen. Dieser Winkel entscheidet namentlich, ob ein im Wasser erregter Schall in der Luft vernehmbar ist oder nicht. Treffen die im Wasser sich fortpflanzenden Schwingungen die Oberfläche desselben unter einem sehr kleinen Winkel, so geht der Schall nicht aus dem Wasser in die Luft über. Diese Erscheinung ist derjenigen ähnlich, die uns das Licht an der gemeinschaftlichen Grenzfläche zweier an Dichte verschiedenen Mittel darbietet, s. Poggendorff's Annal. Bd. 12. (88.) S. 178. 188. Auch bei festen Körpern schwächt die Biegung des schallleitenden Körpers den fortgepflanzten Schall; jedoch verhalten sich hier

die Winkel von Seiten der Schallschwächung anders als beim Wasser. Denn je mehr sich der Winkel des gebogenen schallleitenden Stabes einem rechten nähert, desto schwächer wird der Schall, und hat die Biegung diesen Winkel erreicht, so ist sie am schwächsten. Setzt man das Biegen fort, so dass der Winkel ein spitzer wird, so nimmt der Schall wieder an Stärke zu. Werden endlich die beiden Schenkel des Winkels einander parallel, so hat der Schall auch fast dieselbe Stärke, wie bei geradliniger Fortleitung. S. Wheatstone in Poggendorff's Annal. Bd. 26. (102.) S. 264 f.

Zu S. 44 f. Über die *Resonanz* (wie sie bei Saiten und Stimmgabeln Statt findet) s. auch die Erörterung Fischer's in s. Abh. »Über die Grundlehren der Akust.«, in d. Abh. d. Berlin. Akad. d. W. 1824. Phys. Kl. S. 112—115. — Für die Stärke der Resonanz ist sehr wichtig, in welcher Richtung der tönende Körper mit dem resonirenden verbunden ist, und in welcher Richtung er gegen den letztern schwingt. Die Töne eines transversal schwingenden Körpers werden am meisten verstärkt, wenn er mit dem resonirenden so verbunden ist, und so gegen ihn schwingt, dass dieser gleichfalls in Transversalschwingungen versetzt wird, s. Wheatstone: über die Fortpflanzung der Töne durch starre lineare Leiter und die dadurch hervorgebrachte Resonanz, in Poggendorff's Annal. Bd. 26. (102.) S. 251 — 68. Ausserdem s. W. Weber's Auszug aus Savart's Klangversuchen, nebst seinen Bemerkungen dazu, in Schweigger's Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. 14. (44.) S. 411 — 19. Bd. 15. (45.) S. 306 — 10., u. H. u. W. Weber: Wellenl. § 300.

Zu S. 45. Note 27. Dass die ganze Fläche des resonirenden Körpers schwingt, erhellet auch aus den Beobachtungen Savart's, dass der Resonanzboden einer Violine auch dann seiner ganzen Fläche nach Resonanzfiguren bildet, wenn auch nur Eine Saite in Schwingung versetzt wird, s. Biot II. S. 125.

Zu S. 46. Note 32. Vgl. auch Fischer über die Grundlehren der Akust., in d. Abh. d. Berl. Akad. d. W. 1824. Phys. Kl. S. 94.

Zu S. 48. Note 36. Biot hat an einer cylindrischen, gegen 3000 Fuss langen Röhre von Gusseisen beobachtet, dass der leiseste Schall, z. B. das Schlagen der Unruhe einer Taschenuhr, an dem andern Ende, ungeachtet der grossen Entfernung, so ungeschwächt gehört wurde, als ob man dicht dabei wäre, s. a. a. O. II. S. 8. — Über Communicationsröhre vgl. auch Ding-

ler's polytechn. Journal Bd. LXIV. Hft. 2. (2tes April-Heft) 1837. S. 122.

Zu S. 52. Note 45. S. auch W. Weber's Bericht über Wheatstone's Resonanzversuche, in Schweigger's u. Schweigger-Seidel's Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. 23. (53.) S. 328 ff.

Zu S. 53. Note 47. S. besonders auch den Aufs. W. Weber's: über Savart's Klangversuche, in Schweigger's Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 423 ff. — Über die Verstärkung des Schalles durch Zurückwerfung der Schallstrahlen vgl. auch Fischer: über d. Grundlehren d. Akust., in d. Abh. d. Berlin. Akad. d. W. 1824. Phys. Kl. S. 98 f.

Zu S. 54. Z. 5. v. o. Fischer a. a. O. S. 99. gebraucht statt *Nachhall* den Ausdruck *Wiederhall*, und macht deshalb einen Unterschied zwischen *Wiederhall* und *Echo*.

— Z. 6. v. u. Über das Echo vgl. auch Baumgartner: Naturl. S. 235 f. — Biot II. S. 14. — Fischer a. a. O. S. 99 — 101.

Zu S. 55. Note 51. Die hier erwähnte Schallgeschwindigkeit von etwa 1050 Fuss in 1 Sec. bezeichnet Baumgartner (Naturl. S. 237.) als das Resultat der 1823 von Moll und Andern angestellten Versuche, indem sich aus ihnen ergab, dass der Schall bei einer Temperatur von 0° C. und in ganz trockener atmosphärischer Luft in gleichförmiger Bewegung in 1 Sec. 332,05 Meter oder 1050 W. F. zurücklegt. — W. Weber gibt an mehrern Orten, z. B. in Schweigger's u. Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 321. an, dass der Schall in 1 Sec. etwa 1024 Fuss weit fortgepflanzt werde in der Luft; in Poggendorff's Annal. Bd. 16. (92.) S. 203. gibt er 1052 F. (bei 22° R.) als seine Geschwindigkeit an. — Nach Gilbert's Annal. d. Phys. Bd. 42. (oder Neue Folge Bd. 12.) S. 158. 161. beträgt die Schallgeschwindigkeit 1027 Par. Fuss in 1 Sec. — Biot gibt II. S. 21. in der Note diese Geschwindigkeit zu 1026 Par. Fuss an, wofür er jedoch der leichtern Rechnung wegen 1024 F. bei der Bestimmung der Töne annimmt.

Zu S. 56. Note 54. Über das Hörrohr s. auch Baumgartner: Supplbd. S. 352 f. — Biot II. S. 109. — Fischer: über die Grundlehren der Akust., in der Abh. der Berlin. Akad. d. W. 1824. Phys. Kl. S. 108. — Dingler's polytechn. Journal Bd. LXIV. Heft 2. April 1837. S. 120 ff.

— Note 56. Vgl. Fischer a. a. O. S. 101 f. — Biot II. S. 14.

Zu S. 57. Z. 3. v. o. **Fischer** a. a. O. S. 107 f. beschränkt die Wirkung des Sprachrohres auf die Verhinderung der Seitenverbreitung der in der Mitte befindlichen Schallwellen, ebenso Biot. **Chladni**: Akust. S. 238. sagt: »Die vortheilhafteste Gestalt eines Sprachrohres ist, wie **Lambert** gezeigt hat, ein abgekürzter Kegel, es werden nämlich in demselben alle an dessen Seitenwände anstossenden Schallstrahlen so gebrochen, dass sie nach einer oder mehrern Brechungen mit der Axe parallel werden, oder wenigstens nicht sehr davon abweichen.«

— Zu Z. 9 v. o. Das Mitklingen der Wände des Rohres leugnet **Fischer** a. a. O. S. 107., indem er sagt, dass, der Erfahrung zufolge, die Materie, woraus das Rohr besteht, ziemlich gleichgültig sei. **Chladni** S. 238. lässt diesen Punkt unentschieden.

— Note 58. Über das Sprachrohr s. auch **Baumgartner**: Supplementbd. S. 350 ff. — **Biot** II. S. 109. — **Dingler's** polytechn. Journ. Bd. LXIV. Hft. 2. April 1837. S. 121.

Zu S. 58. Z. 17. v. o. Zur genauern Bestimmung des hier Gesagten füge ich noch Folgendes bei: Die Schwingungen einer Saite können einem Resonanzboden mittelst eines metallenen, gläsernen oder hölzernen Leiters mitgetheilt werden, wie z. B. **Wheatstone's** Experimente gezeigt haben (s. **Poggendorff's** Annal. Bd. 26. (102.) S. 258 f.); an den gewöhnlichen Saiteninstrumenten aber geschieht dieses nicht sowohl durch den Stift oder dgl., sondern durch den Holzstab, worauf die Saiten ruhen, den sogenannten *Steg*. Die so ihrem Resonanzboden mitgetheilten Schwingungen können von demselben mittelst der zuvor genannten Leiter wieder einem oder mehrern andern nahen oder entfernten Resonanzböden mitgetheilt werden, worüber **Wheatstone** ebenfalls interessante Versuche angestellt hat (s. a. a. O. S. 259 ff.).

— Z. 6. v. u. **Baumgartner**: Naturl. S. 265. bemerkt: »Schlägt man an einem Clavier, in dessen Nähe eine Violine hängt, mehrere Töne an, so vernimmt man deutlich, dass die Violine mitklingt, und dass sich ihre Saiten, wenn sie nicht in ihrer ganzen Länge diesen Ton geben können, in solche Theile abtheilen, die dazu geschickt sind.«

— Note 2. S. auch **Fischer**: über d. Grundlehren d. Akust., in d. Abh. d. Berlin. Akad. d. W. 1824. Phys. Kl. S. 116.

Zu S. 59. Z. 1 ff. v. o. Biot II. S. 32 f. sagt: »Man kann die Abtheilung einer Saite auch dadurch zu Stande bringen, dass man in der Nähe derselben eine andere Saite schwingen lässt, deren Schwingungszahl mit der ihrigen im Verhältniss der Einheit zu einer ganzen Zahl steht. Gibt z. B. die erste Saite C und die zweite c, so wird, wenn man diese klingen lässt, auch die erstere in Bewegung gerathen und sich von selbst in 2 gleiche Theile scheiden, zwischen denen sich ein Schwingungsknoten befindet. — Wenn man mit einem Bogen die Saite C eines Basses streicht, welche zugleich ihre harmonischen Töne c und g hören lässt, so theilt sich die Saite G dieses Instruments sichtlich in 2 gleiche Theile ab, deren jeder im Einklang mit diesem g schwingt. Ein elastischer Stab, welcher schwingt, bringt ebenfalls die gespannten Metallsaiten, welche mit ihm im Einklang sind, zum Mittönen. Eine richtig gespielte Violine verursacht das Mitschwingen der entsprechenden Saiten auf der Guitarre; dasselbe bewirkt eine Flöte, selbst wenn die Guitarre auf einer weichen Unterlage liegt. In diesen letztern Fällen mag sich der Ton wohl einzig und allein durch die Luft fortpflanzen; damit jedoch so schwache Wellenbewegungen in dieser eine merkliche Mittheilung der Bewegung zwischen 2 Saiten verursachen können, müssen die Impulse, die sie der zweiten Saite successiv ertheilen, alle unter einander zusammenstimmen und sich sämmtlich zur Hervorbringung derselben Schwingungsart vereinigen. Diese Saite muss mithin eine Bewegung annehmen können, welche mit der Wiederkehr der Luftwellen, die an sie treffen, periodisch zusammenstimmt. Dieses findet Statt, wenn ihre Länge das Doppelte, Dreifache, oder im Allgemeinen irgend ein durch eine ganze Zahl ausgedrücktes Vielfaches von der Länge der zuerst in Schwingung versetzten Saite ist. Aber auch dann noch würde die Bedingung erfüllt sein, wenn die Länge der zweiten Saite ein Submultiplum von der der ersten wäre, d. i. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ .... «

Zu S. 60. Z. 15. v. u. Mit Fischer stimmt auch Biot II. S. 33. überein (s. die eben angeführten Worte dess.).

Zu S. 61. Z. 9. v. u. Savart (in Schweigger's Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 426.) bemerkt: »Für den Bau von Saiteninstrumenten folgt daraus (aus diesem Mittönen der Luft des Resonanzbodens), dass ihre Resonanzböden, wenn man einen schönen Ton erhalten will, ein Volumen Luft von gewissen bestimmten Dimensionen enthalten müssen. Wird der Raum des Resonanz-

bodens verkleinert, oder mit der äussern Luft in Verbindung gesetzt, so verlieren vorzüglich die tiefern Töne.“

Zu S. 61. Z. 3. v. u. Hieher gehört fast alles schon bei aa. Erwähnte, da das dort genannte Mittönen anderer Körper auch erfolgt, wenn ihnen durch die Luft die Schwingungen der selbsttönenden Körper mitgetheilt werden. S. die zuvor angegebenen Worte **Biot's**. Hieher gehört auch, dass man, wie **Savart** gethan, eine gespannte Membran dadurch in Schwingung versetzen kann, dass man nahe bei ihr oder auch in einiger Entfernung von ihr eine starre Scheibe durch einen Bogenstrich in Schwingung versetzt, ohne jene an irgend einer Stelle unmittelbar zu berühren. Die der Luft von der Scheibe mitgetheilten Schwingungen pflanzen sich zu der Membran fort und bringen sie zum Mitschwingen, s. **Biot** II. S. 73 f. 130 f. Eben solche Wirkungen äussert die Orgel im Grossen auf die elastischen Körper, die den Schallwellen, welche sie in der Luft erregt, grosse Oberflächen darbieten, s. a. a. O. S. 130.

Zu S. 62. ist zwischen Z. 9. v. o. und dd., welches in ee. zu verändern ist, Folgendes einzuschalten:

dd) *B und C sind elastisch flüssige Körper.* Hieher kann man folgenden von **Wheatstone** beobachteten Fall ziehen. Wenn man 2 Concertflöten auf eine Tafel parallel und dicht beisammen legt, und auf der einen stark $\bar{\bar{c}}$ bläst, wobei alle Seitenlöcher offen stehen, die andere Flöte aber so greift, dass sie eine halbe Stufe tiefer tönt (welches Intervall so viel beträgt, als die Vertiefung bei der erstern Flöte durch theilweise Verdeckung des Mundlochs mit der Lippe), so wird der Ton der erstern Flöte verstärkt, indem die in der zweiten Flöte enthaltene, mit der erstern mittelbar in Berührung stehende Luftsäule in ein Mittönen versetzt wird oder resonirt, s. W. **Weber's** Bericht in **Schweigger's** und **Schweigger-Seidel's** Jahrb. Bd. 23. (53.) S. 329. Dieser Fall gehört dann hieher, wenn die Verbindung beider schwingenden Luftsäulen durch die sie umgebende Luft vermittelt wird; geschieht dieses aber durch die sich berührenden Wände der Instrumente, so gehört er zu bb. S. 61.

— Note 9. S. auch **Biot** II. S. 132.

Zu S. 66. Z. 11 ff. v. o. Den Ausdruck *Laut* für *Timbre* gebraucht namentlich auch W. **Weber** z. B. in **Schweigger's** und **Schweigger-Seidel's** Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 328. — Den

Ausdruck *Klangfarbe* findet man auch bei Naue A. Orgel, in d. Hall. Encycl. d. Wissensch. u. K. Sect. III. Th. V. S. 165., wo er zugleich über den Einfluss des Materials und der Gestalt der Orgelpfeifen auf die Qualität ihres Tones S. 165 ff. 173 ff. redet. — Den Namen *Klang* für *Timbre* findet man auch in Fechner's deutsch. Bearb. von Biot's Lehrb. d. Experimental-Phys. 2. Aufl. Bd. II. S. 74.

Zu S. 68. Z. 9. v. u. Biot II. S. 74. vermuthet, dass der auf der Qualität der Gestalt beruhende Timbre der Töne daher rühre, dass mit dem tiefsten Tone der Körper je nach ihrer verschiedenen Gestalt eine verschiedene Reihe harmonischer Töne vernommen werde, und deshalb z. B. der Ton einer Saite und der eines Gefässes in uns nicht dieselbe Empfindung hervorrufen, so dass man aus dieser verschiedenen Reihenfolge der harmonischen Töne erkennen könne, wie der Körper, dessen Ton wir vernommen haben, gestaltet sei. Der auf der Qualität der Molecule beruhende Timbre, z. B. der eigenthümliche Klang des Holzes und des Metalles, rührt nach seiner Vermuthung von dem Vortönen eines oder des andern harmonischen Tones her.

Zu S. 71. Z. 12. v. o. Vgl. Baumgartner: Supplbd. S. 349.: »Demnach wird ein Schallstrahl an der Trennungsfläche der 2 Mittel in 2 Theile zerlegt, wovon einer in das neue Mittel eindringt, der andere hingegen in das alte zurückkehrt, mithin *reflectirt* wird.«

— Z. 23. v. o. S. auch Fischer: über d. Grundlehr. d. Akust., in d. Abh. d. Berl. Akad. d. W. 1824. Phys. Kl. S. 105. — Baumgartner: Supplbd. S. 339. — Biot II. S. 23.: »Was die *Stärke* oder *Intensität* des Schalles betrifft, so wird sie abhängen von der Weite der Excursionen, welche die successiv in Schwingung versetzten Lufttheilchen machen; von der Stärke der abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, die jede Welle darin hervorruft; endlich von der grössern oder geringern Anzahl Theilchen, welche diese Wirkungen erfahren und successiv zum Gehörorgan fortpflanzen.«

Zu S. 72. Z. 16. v. u. Wheatstone in Poggendorff's Annal. Bd. 26. (102.) S. 267. bemerkt hierüber: »Dieses gilt, der Theorie zufolge, von einem Schalle, der sich von einem Punkte aus nach allen Seiten ausbreitet. Wird derselbe aber gezwungen, sich nur nach einer einzigen Richtung fortzupflanzen, so

erleidet er keine Schwächung, vorausgesetzt, der leitende Körper ist vollkommen homogen und von gleichförmigem Gefüge, eine Bedingung, die aber in der Wirklichkeit nicht zu erhalten ist. In einer leitenden Substanz von vollkommen gleicher Dichte und Elasticität, worin sich also die Schwingungen mit gleichförmiger Schnelligkeit ohne Reflexion und Interferenzen fortpflanzen würden, wäre es eben so leicht, Töne von Aberdeen nach London als von einem Zimmer zum andern zu leiten.« Vgl. S. 48. Note 36. — Ausserdem ist auch die Weite, bis zu welcher ein Schall vernehmbar ist, verschieden, jenachdem der, welcher denselben hören soll, an einem Orte, der in der Richtung der Schwingungen oder senkrecht auf diese ist, oder an einem zwischen beiden Richtungen liegenden sich befindet; denn welche ursprüngliche Richtungen auch die Geschwindigkeiten der Theilchen im Bezirke der anfänglichen Erschütterung besitzen mögen, so bleiben doch, Poisson's Untersuchungen zufolge, zuletzt (d. i. in grosser Entfernung von dem Orte der anfänglichen Erschütterung) bloss solche Geschwindigkeiten übrig, welche nach den Radien der beweglichen Wellen, und solche, welche senkrecht auf diese Radien gerichtet sind (s. Fechner's Repert. I. S. 81 f.), so dass Jemand, der sich in dieser weiten Entfernung befindet, nur in den beiden eben bezeichneten Richtungen, nicht aber in einer dazwischen liegenden den Schall noch zu vernehmen vermag. Vgl. W. Weber's Abh.: »Über Unterbrechungen der Schallstrahlen in der transversal schwingende Stäbe und Gabeln umgebenden Luft«, in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 385 ff. u. das auf d. folg. S. 73. 3) Bemerkte.

— Note 14. S. auch Fischer: üb. d. Grundlehren d. Akust., a. a. O. S. 106 f. — Fechner: Repert. I. S. 81.

Zu S. 73. Z. 11. v. o. Vgl. Fischer a. a. O. S. 81 ff.

— Note 2. S. auch Fechner: Repert. I. S. 94 ff. — Örsted: »über die Zusammendrückbarkeit verschiedener Flüssigkeiten bei hohem Drucke«, in Poggendorff's Annal. Bd. 9. (85.) S. 603 f. und: »über die Zusammendrückung des Wassers in Gefässen von verschiedener Zusammendrückbarkeit«, ebend. Bd. 12. (88.) S. 513 ff. — Colladon u. Sturm: über d. Zusammendrückbarkeit von Flüssigkeiten, ebend. Bd. 12. (88.) S. 39 ff. 161 ff. u. S. 186 ff. »Bemerkungen über die Natur des Schalles im Wasser.« Diese theile ich hier mit, weil sie

zeigen, *wie sehr Qualität und Quantität des Schalles eines Körpers von dem Medium, in welchem er schwingt, bedingt werde.* Sturm sagt hier S. 186 ff.: »Ich beschliesse diese Abhandlung mit einigen Bemerkungen, welche mir einer Erwähnung werth scheinen. Die erste betrifft die *Dauer des Schalles im Wasser*, welche merklich von der Dauer in der Luft abweicht. Der Ton einer unter Wasser geschlagenen Glocke hat, in einiger Entfernung gehört, keine Ähnlichkeit mit dem einer in der Luft tönenden Glocke. Statt eines anhaltenden Tones hört man unter Wasser nur einen scharfen und kurzen Schall, den ich am liebsten mit dem zweier gegen einander geschlagenen Messerklingen vergleichen möchte. Diese Beschaffenheit behält der Schall auch in sehr grosser Entfernung, nur nimmt er an Intensität ab. Das Hören eines so trocknen und kurzen Tones, der aus einer Entfernung von mehrern Meilen herkommt, macht einen ähnlichen Eindruck, wie wenn man zum ersten Male entlegene Gegenstände durch ein Fernrohr sehr deutlich erscheinen sieht. Als ich diesen Versuch bei intermediären Stationen machte, schien mir der Ton, was seine Natur betraf, gleich geblieben zu sein, so dass es mir unmöglich war, zu untersuchen, ob er von einem starken Schlage in der Ferne oder von einem schwachen Schlage in der Nähe herrührte. Erst bei einem Abstande von 200 Meter liess sich das Klingen der Glocke nach dem Schlage unterscheiden. In der Luft beobachten wir fast ganz das Entgegengesetzte. In der Nähe sind die Schläge gegen die Glocke sehr leicht zu erkennen, während man in der Ferne nur ein zusammenhängendes und fast gleichförmiges Gebrumme hört. Der Widerstand, welchen das Wasser den Schwingungen der Glocke leistet, gibt nur eine ungenügende Erklärung dieser Thatsache; denn derselbe Schall ist, ausserhalb des Wassers gehört, weit anhaltender, und man erkennt sehr wohl den Ton einer Glocke, was unmöglich ist, wenn man den Ton von weitem durch das Wasser hört. Diese Erscheinung erklärt sich durch die Natur der Schallwellen im Wasser. Man weiss nämlich, dass in der Schwingungsbewegung einer Flüssigkeit die Dauer der Bewegung eines Theilchens gleich ist dem Radius des Kugelstückes, welches man zu Anfange der Bewegung ursprünglich erschüttert annimmt, dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles. Die erste dieser beiden Grössen ist im Wasser nothwendig kleiner als in der Luft, die zweite dagegen grösser.

Und daraus folgt, dass die Dauer eines Schalles bei seiner Fortpflanzung im Wasser weit geringer sein muss, als bei der in der Luft.«

Zu S. 76. Z. 4 ff. v. o. Die hier, in Übereinstimmung mit allen übrigen Akustikern, den tropfbaren Flüssigkeiten zugeschriebene Unfähigkeit des Selbsttönens ist durch die neuen Beobachtungen Cagniard de Latour's widerlegt, s. § 28 *.

— Z. 3. v. u. Statt des Ausdrucks *attractive Elasticität* gebraucht W. Weber den Ausdruck *Federkraft*, worunter er die Elasticität versteht, die ein Körper nach erlittener Formveränderung äussert. Die S. 81 ff. erläuterte *expansive Elasticität* nennt er *Expansivkraft*, und definirt sie als die Elasticität, welche ein Körper nach erlittener Volumenveränderung äussert. Zwischen diesen beiden Grundkräften der Natur scheint Poisson durch seine Untersuchung einen Zusammenhang nachgewiesen zu haben, der vor ihm nur vermuthet worden war. S. W. Weber in Poggendorff's Annal. Bd. 14. (90.) S. 174 f.

Zu S. 81. Z. 4. v. o. Über die Spannung der Saiten überhaupt und wovon sie abhängt, s. W. Weber in Poggendorff's Annal. Bd. 17. S. 226 ff. Bd. 20. S. 67. 178. 181. 200 ff. und einen Auszug daraus in Fechner: Repert. I. S. 66 ff. Wie man die Zunahme der Länge einer Saite durch Vermehrung des spannenden Gewichts mittelst eines Monochords bestimmen könne, zeigt W. Weber ebend. Bd. 15. S. 1 ff.

— Note 13. S. Fechner: Repert. I. S. 267.: »Die Schwingungszahl eines beliebig gestalteten Körpers, welcherlei Art Schwingungen er auch vollbringen mag, steht in geradem Verhältniss der Quadratwurzel seiner Elasticität, im umgekehrten Verhältniss der Quadratwurzel seiner Dichtigkeit.«

— Note 14. Fechner: Repert. I. S. 272.: Die Tonhöhe einer transversal schwingenden homogenen Saite verhält sich wie die Quadratwurzel des Gewichts, womit sie gespannt ist. Ebenso verhält sich nach S. 282 f. die Tonhöhe einer transversal schwingenden Membran direct wie die Quadratwurzel des sie spannenden Gewichts.

Zu S. 83. Z. 10 ff. v. o. Die Richtigkeit des *Mariottischen Gesetzes* wird namentlich von Galy-Cazalat und von Depretz bestritten, s. Poggendorff's Annal. Bd. 12. (88.) S. 193 f.

Zu S. 92. Z. 18 f. v. u. Dass Stäbe von Eisen und Stahl dieser Angabe zufolge einerlei Ton geben, lässt sich daraus erklären,

dass nach den Lagerhjelm'schen Versuchen alle Arten von Eisen, sie mögen hart, weich oder brüchig sein, denselben Grad von Elasticität zu besitzen scheinen, d. h. dass alle Eisensorten, bei gleichen Dimensionen und innerhalb der Elasticitätsgrenze, durch eine gleiche Kraft allemal eine gleiche Ausziehung erleiden, s. Poggendorff's Annal. Bd. 13. (89.) S. 406. — Nach Cagniard de Latour's akustischen Versuchen gibt ein gehärteter Stahldraht longitudinal schwingend einen tiefern Ton als ein ungehärteter Draht; Gleiches, wiewohl im geringern Grade, gilt vom Eisen. Der durch longitudinale Vibrationen eines Messingdrahtes erzeugte Ton wird durch das Härten dieses Drahtes weder tiefer noch höher. S. Poggendorff's Annal. Bd. 28. (104.) S. 239. Seinen Versuchen zufolge gibt auch eine gehärtete eiserne Stimmgabel transversal schwingend einen tiefern Ton als eine angelassene, s. ebend. S. 239.

Zu S. 93. Z. 5. v. u. Zu diesen eben angegebenen Ursachen der Verschiedenheit in den Angaben des specifischen Gewichts kommt noch, dass bei den englischen und französischen Gewichten ein verschiedenes specifisches Gewicht des Wassers zu Grunde liegt, wie W. Weber gezeigt hat in Poggendorff's Annal. Bd. 18. (94.) S. 608 ff. (s. Fechner: Rep. I. S. 232 f.).

Zu S. 102. Z. 10. v. u. Hier muss statt *fis* gelesen werden *fis*.

Zu S. 104. Note 63. S. auch Savart: »über die menschliche Stimme«, in Froriep's Notizen Bd. XIII. Nr. 270. S. 86.

Zu S. 106. Wahrscheinlich findet bei *transversal schwingenden Saiten* zugleich eine *drehende* Bewegung Statt, wie man aus folgender Beobachtung Strehlke's erkennt. Erregt man auf einer dünnen Wasserschicht mittelst einer hineingetauchten Schreibfeder oder dünnen Thermometerröhre einen Wassertropfen, den man zur genauern Erkennung seiner Bewegung mit Lycopodium so überstäubt hat, dass dieses überall eine nur wenig zusammenhängende Fläche bildet, und bringt nun den so bedeckten Wassertropfen über eine Claviersaite, so dass diese davon umhüllt wird, oder auch zwischen 2 Saiten, so kommt der Tropfen beim Anschlagen der Saite sogleich in eine Rotationsbewegung, wobei die Pole in der Axe der Saite liegen, im Äquator erfolgt eine sehr lebhafte Drehung des Lycopodiums. S. Poggendorff's Annal. Bd. 40. (116.) S. 148.

Zu S. 107 ff. Anm. Über die hier erwähnten *Klirrtöne* einer Saite hat auch Seebeck Versuche angestellt. Aus dem, was er hier-

über in **Poggendorff's** Annal. Bd. 40. (116.) S. 543 ff. sagt, hebe ich hier Folgendes aus: »Ich muss bemerken, dass, wenn auch **Nörrenberg's** Beobachtung gegründet ist, diess doch mit **Chladni's** nicht minder der Fall ist. Ich habe den Klirrton oft und unter verschiedenen Bedingungen erzeugt, und habe sowohl an Metall- als Darmsaiten mit einem Steg von Eisen, Knochen, Holz oder Kork, immer, sobald wenigstens die Saite nicht zu stark gespannt war, die tiefere Quinte so vollkommen deutlich erhalten, dass weder mir noch vielen andern Personen von gutem Gehör der mindeste Zweifel darüber blieb. Dagegen habe ich auch, zumal an stärker gespannten und kürzern Darmsaiten, die obere Quarte ziemlich deutlich unterschieden, doch kaum mit derselben Vollkommenheit wie jenen tiefern Ton. Es mögen wohl immer *beide* Töne zugleich entstehen. — Wenn man den Steg unter die Mitte der Saite so untersetzt, dass er sie noch nicht berührt, so erhält man einen viel unvollkommnern Klirrton, der tiefer ist; derselbe wird höher, wenn man den Steg etwas mehr gegen die Saite hebt, und geht endlich in den **Chladni'schen** über, der bei weitem am deutlichsten ist; hebt man den Steg noch mehr, so dass er schon etwas gegen die Saite drückt, so wird der Klirrton noch höher. Steht der Steg an andern Stellen, so hört man sehr unvollkommene Klirrtöne. **Chladni** gibt an, dass man, wenn er $\frac{1}{5}$ der Saite abschneide, die tiefere None höre; ich finde statt deren eine kleine Decime, und dieser Ton bleibt fortwährend noch ziemlich wahrnehmbar, geht aber in die verminderte Unterquinte des Grundtons der Saite über, wenn man den Steg etwas mehr gegen diese drückt; das letztere ist der Ton, den auch **Chladni** für diese Stelle angibt.« Hiermit vergleichbare Erscheinungen bei einer Stimmgabel s. S. 224 ff. bb. und die S. XXX f. hierzu gemachten Nachträge.

Zu S. 115 f. Anm. 3. Die schraubenförmige Gestalt der Knotenlinie einer longitudinal schwingenden Saite rührt daher, dass, wie bei allen übrigen longitudinal schwingenden Körpern, so auch bei den so schwingenden Saiten mit den Longitudinalschwingungen zugleich normale der entgegengesetzten Seite verbunden sind, deren Knotenlinien oder Schwingungsknoten in der Mitte je zweier der entgegengesetzten Seite liegen, mit denen sie wieder durch schiefe Linien wie bei den Stäben verbunden sind. Vgl. S. 147 f. 150 f. 272. Note 12. 287.

Zu S. 117 ff. Vgl. **Hopkins**: über die Schwingungen der Luft in cylindrischen Röhren; in **Poggendorff's** Annal. Bd. 44. (120.) S. 246 ff. 603 ff.

Zu S. 126. Die hier erwähnte Erregungsart der Schwingungen einer Luftsäule mittelst einer vorgehaltenen schwingenden Glasscheibe hat auch **Hopkins** bei seinen eben angeführten Untersuchungen angewandt und sein Verfahren dabei durch die Abbildung in Bd. 43. (119.) Taf. I. Fig. 9. jener Annal. veranschaulicht. Hierbei macht er auf den wichtigen Umstand aufmerksam, dass, wenn auf diese Weise die Intensität der Schwingungen in der Röhre geprüft werden soll, immer genau ein und derselbe Theil der Scheibe vor die Röhre gehalten werden muss, welcher zugleich *ganz in einer und derselben schwingenden Abtheilung* der Scheibe liegen muss. Denn wenn eine Knotenlinie quer vor der Mündung der Röhre vorüber ginge, so würden die Schwingungen, welche von den sich gegenüber liegenden Seiten dieser Linie ausgehen, entgegengesetzter Art sein, und daher einander im Verhältniss ihrer gegenseitigen Intensität aufheben. Theilt die Knotenlinie das unter der Röhrenmündung befindliche Stück der Scheibe in 2 gleiche Theile, so wird die *Interferenz* so vollständig sein, dass sie alle merkbare Bewegung in der Röhre zerstört. Den augenscheinlichen Beweis dieser Wirkung gibt eine gabelförmige Röhre (s. a. a. O. Bd. 43. (119.) Taf. I. Fig. 11.), wenn man, nachdem das oberhalb der Gabeln befindliche offene Ende mit einer feinen Membran überspannt und auf diese ein wenig Sand gestreut ist, die beiden Gabeln über 2 nach entgegengesetzten Richtungen schwingende Abtheilungen einer tönenden Scheibe hält. Der auf die Membran gestreute Sand wird dann vollkommen in Ruhe bleiben, zum Beweise, dass die von jenen beiden Abtheilungen der Scheibe durch die Gabeln fortgepflanzten Wellen in dem oberhalb der Theilung befindlichen Theile der Röhre so vollständig interferiren, dass sie an dem mit der Membran bedeckten Ende keine Wellen mehr erzeugen (s. a. a. O. Bd. 44. (120.) S. 608 f. vgl. auch S. 620.). Weitere Bemerkungen über *Interferenz* s. unten S. 205. u. S. XXX. dieser Nachträge.

Zu S. 127. Note 22. Die Lage der Knotenflächen einer Luftsäule, die in einer gläsernen Röhre schwingt, lässt sich auf experimentelle Weise ermitteln durch eine zarte Membran, die man auf einen kleinen, dem innern Raume der Röhre angemessenen Rahmen so gespannt hat, dass sie mit dem Tone der Luftsäule

in Einklang ist, und dann, nachdem man sie mit wenigem leichtem und trockenem Sande überstreut hat, mittelst an dem Rahmen befestigter Schnüre horizontal langsam in der Röhre durch das obere offene Ende hinablässt, wobei man stets darauf achtet, an welchen Stellen der Sand, während die Luftsäule schwingt, stärker oder schwächer sich bewegt oder ganz ruht. An der stärksten Bewegung desselben erkennt man ein Schwingungs-Maximum, an der gänzlichen Ruhe oder der schwächsten Bewegung desselben eine Knotenfläche oder ein Schwingungs-Minimum der schwingenden Luftsäule. Vgl. Hopkins a. a. O. Bd. 44. (120.) S. 605 ff. und die Abbildung dieses Apparats ebend. Bd. 43. (119.) Taf. I. Fig. 9. 10.

S. 136. Z. 11. v. u. lies *normale* statt *tangential normale.*

Zu S. 139. Note 6. Ich bin hier durch Biot veranlasst worden, Galiläi als den ersten Entdecker der Klangfiguren aufzustellen. Strehlke's Aufs.: Über Biot's Behauptung, Galiläi sei der erste Entdecker der Klangfiguren (in Poggendorff's Annal. Bd. 43. (119.) S. 521 ff.), hat mich belehrt, dass diese Annahme irrig ist, da in Galiläi's erstem Dialoge, auf welchen Biot verweist, nirgends erwähnt wird, dass er ein Mittel gefunden habe, die ruhenden Stellen einer schwingenden Fläche durch kleine Körperchen sichtbar zu machen, was doch der Erfinder der Klangfiguren thun müsste; vielmehr ist anzunehmen, dass zu Galiläi's Zeit, wie noch lange nach ihm, die Ansicht galt, dass eine schwingende Fläche in allen Theilen in Bewegung sei.

Zu S. 141 ff. Da Savart's neueste Untersuchungen über die Longitudinalschwingungen (bekannt gemacht in den Annales de chimie et de physique par Gay-Lussac et Arago. Tome LXV. Août 1837. p. 337—402.), die sich vorzugsweise auf Stäbe beziehen, leider erst jetzt in meine Hände gekommen sind, so bin ich genöthigt, das Hauptresultat seiner höchst wichtigen Forschungen in der Kürze hier nachträglich mitzutheilen. Er selbst stellt als solches S. 401 f. folgende 3 Punkte auf:

1) Die mittelst des Sandes oder auf irgend eine andere Art versichtbarten Knotenlinien longitudinal schwingender Körper werden von abwechselnden Beugungen hervorgebracht, die selbst wieder durch die longitudinalen Zusammenziehungen erzeugt werden und bei jeder Ausdehnung verschwinden. Die periodischen Beugungen bilden eine be-

sondere Art von normaler Bewegung, welche nur aus halben Schwingungen besteht, deren Zahl stets der der longitudinalen Schwingungen gleich ist. Charakterisirt werden sie durch eine wechselsweise geordnete Lage (disposition alterne) der Knotenlinien, deren Zwischenraum auf 2 entgegengesetzten Flächen der nämliche ist wie der der Ruhelinien der gewöhnlichen transversalen Bewegung, die denselben Ton geben würde. Sie veranlassen in dem Augenblicke, wo sie sich bilden, eine Molecularbewegung, welche immer parallel mit den Flächen und Kanten der Stäbe ist, aber auf den beiden Seiten der Ruhelinien eine entgegengesetzte Richtung hat. Demnach sind an einem longitudinal schwingenden Stabe folgende Bewegungsarten vorhanden: a) eine aus Zusammenziehungen und Dehnungen bestehende Bewegung, welche der in Röhren schwingenden Luftsäule analog ist; b) eine Bewegung, die aus transversalen Beugungen besteht, die derjenigen analog sind, welche an einem Stabe, den man in der Richtung seiner Länge zusammendrückt, plötzlich entsteht; c) eine longitudinale Molecularbewegung, welche wechselsweise entgegengesetzte Richtung auf den beiden Seiten jedes Beugungspunktes hat.

2) Die Beschaffenheit der Knotensysteme wird besonders durch die Form der Stäbe, so wie durch das Verhältniss ihrer transversalen Dimensionen zu einander und zur Länge bedingt. Diese Knotensysteme sind äusserst mannichfach, selbst bei den einfachsten Formen, d. h. bei denen, deren Durchschnitt quadratisch oder kreisförmig ist. Nur bei diesen letzten Formen möchte man ihre Zahl zu bestimmen und die Gestalt, in der sie sich darstellen können, vorauszusehen im Stande sein. Insgemein bestehen diese Systeme aus schraubenförmigen Knotenlinien, welche entweder in Einer Richtung von dem einen Ende der Stäbe zum andern, oder in den beiden Hälften der Länge in entgegengesetzter Richtung sich winden; oder sie bestehen aus transversalen Linien, die auf den entgegengesetzten Flächen oder Kanten der Stäbe wechselsweise liegen und deren Enden senkrecht sind auf 2 longitudinale Linien, welche 2 diametral entgegengesetzte Kanten einnehmen.

3) Die Vergleichung der Ausdehnungen der Stäbe durch Longitudinalschwingungen und durch Gewichte zeigt, dass eine

Molecularerschütterung eine Entwickelung von Kraft veranlassen kann, die im Vergleich mit der Ursache, welche sie erzeugt, ausserordentlich gross ist.

Ausser diesem Hauptresultate erwähne ich hier noch die von ihm S. 355 ff. mitgetheilte und erklärte Beobachtung, dass longitudinal schwingende Stäbe und gespannte Streifen ausser dem ihrer longitudinalen Schwingungsart zukommenden Tone bisweilen noch einen tiefen hören lassen, der, so oft er erscheint, um eine Octave tiefer als jener ist. Er hat die Eigenthümlichkeit, dass er meistens rauh ist und plötzlich erscheint. Der longitudinale Ton hört beinahe immer auf, sich hören zu lassen, wenn dieser erscheint; doch können auch beide coëxistiren. Diesen tiefen Ton lassen gespannte Streifen viel leichter hören als Stäbe. Man erhält ihn bei einem Stabe leicht dadurch, dass man ihn, wenn er in voller Schwingung ist, ein wenig stärker mit dem zur Reibung dienenden Stücke Tuch drückt und ein wenig schneller reibt als gewöhnlich. In dem Augenblicke, wo er hervorgebracht wird, erhalten die Finger, welche den Stab halten, eben so wie die, welche das Stück Tuch bewegen, eine Reihe kleiner Stösse, welche deutlich anzeigen, dass die Bewegung eine andere Beschaffenheit angenommen hat. Diese Veränderung besteht darin, dass die Zusammenziehungen und Ausdehnungen, welche die Longitudinalschwingungen ausmachen, gewöhnliche transversale Schwingungen erzeugt haben, d. h. solche, deren Beugungen abwechselnd von einer Seite der Axe zur andern gehen, während die transversalen Beugungen, von denen sonst die longitudinalen Schwingungen begleitet sein können, nur an einer einzigen Seite der Axe eintreten. Er erklärt demnach jenen tiefen Ton für einen Transversalton, welcher dadurch entsteht, dass die longitudinalen Schwingungen in transversale übergehen, oder mit diesen zugleich fortbestehen. Im erstern Falle wird nur der tiefere Ton, im letztern zugleich auch der höhere longitudinale Ton gehört.

Zu S. 151. Durch die Verbindung normaler Schwingungen mit longitudinalen wird kein Unterschied zwischen den Longitudinalschwingungen der Stäbe und der Saiten begründet, da auch bei den letztern durch die schraubenförmige Gestalt der Knotenlinien ihrer Longitudinalschwingungen das gleichzeitige Vorhandensein normaler Schwingungen erwiesen wird, vgl. S. XXV. u. S. 272. Note 12.

Zu S. 164 f. Zur *Haltung eines prismatischen Stabes, der an beiden Enden frei schwingen soll*, hat Strehlke einen Apparat erfunden, in welchem er einen solchen Stab an 2 Stellen einspannt, ohne dass dadurch die Freiheit der Schwingung seiner Enden beeinträchtigt wird. Will man die Schwingungen eines dieser Enden in einer Flüssigkeit untersuchen, so braucht man nur den Apparat, statt ihn horizontal auf einem Gegenstande zu befestigen, vertical an einem dazu geeigneten Gegenstande fest zu machen, und das untere Ende des Stabes in das darunter stehende Gefäss, welches die Flüssigkeit enthält, einzutauchen. Die Beschreibung und Abbildung dieses Apparates s. in Poggendorff's Annal. Bd. 43. (119.) S. 406. Anm. u. Taf. III. Fig. 5.

Zu S. 205. Ausser Weber haben Vieth und Kane (in Poggendorff's Annal. Bd. 37. (113.) S. 435.) akustische Interferenzen beschrieben. Sie finden nicht bloss bei *Stäben*, sondern auch bei *Scheiben* Statt, wie S. 388. aus W. Weber's Abh. angeführt ist. Auch Hopkins hat die Schwingungen einer Klangscheibe durch akustische Interferenzen näher untersucht, s. in Poggendorff's Annal. Bd. 44. (120.) S. 272., wo von Dove auch *kreisförmigen Glasglocken* eine solche Interferenz zugeschrieben wird; s. S. XXXII f. dieser Nachträge, vgl. S. 406. Auch bei *Luftsäulen* kann eine Interferenz eintreten, s. S. XXVI. dieser Nachträge.

S. 217. Z. 11. v. o. lies *Resonanz* statt *Rosonanz*.

Zu S. 224 ff. bb. Die hier in Übereinstimmung mit Fischer und Biot gegebene Erklärung des mit dem Grundtone einer Stimmgabel zugleich vernehmbaren um eine Octave tiefern Tones verwirft Seebeck, weil er eine Auf- und Abwärtsbewegung eines schwingenden Körpers nicht, wie hier geschehen, für *zwei* Schwingungen, sondern nur für *eine* ganze rechnet. Er behauptet demnach, der *Klirrton* (wie er ihn analog mit den S. 107 ff. und nachträglich S. XXIV f. besprochenen Klirrtönen der Saiten benennt), welcher entstehe, wenn der Stiel der Stimmgabel bei *jeder ganzen* Schwingung *einmal* gegen den Tisch stösst, sei von dem der Gabel selbst nicht durch die Höhe, sondern nur durch den Klang verschieden, indem der erstere (der Klirrton) stärker und weniger mild sei als der letztere, den man erhält, wenn man die Gabel ganz fest gegen den Tisch drückt. Indem er aber so jene Erklärung eines um eine Octave tiefern Klirrtones verwirft, leugnet er keineswegs die mögliche Vernehmung eines solchen, sondern behauptet vielmehr in Über-

einstimmung mit Grell, dass ausserdem noch mehrere andere, tiefere Töne bemerkbar seien. Um diese Erscheinung gut beobachten zu können, ist, seiner Angabe zufolge, erforderlich, dass die Stimmgabel einen recht starken und anhaltenden Ton habe, auch wohl, dass die Zinken derselben nicht zu dicht beisammen stehen, damit die beiden Schwingungsknoten, welche sich an der Biegung bei der einfachsten Schwingung bilden, nicht zu nahe an einander fallen. Die Töne, die man bei einer $\bar{a}$ als Grundton hervorbringenden Stimmgabel, wenn man sie sehr leise auf den Tisch aufsetzt, ausser jenem $\bar{a}$ bemerkt, sind das ungestrichene a und d, das grosse A, F und D, und allenfalls noch tiefere, also die, bei welchen die Zahl der Schläge 2, 3, 4, 5, 6 Mal geringer ist, als die Anzahl der ganzen Schwingungen (worunter er dasselbe versteht, was wir Doppelschwingungen nennen, vgl. S. XXXVIII.) der Gabel. Wenn man die Gabel recht stark anschlägt und dann sehr leise auf den Tisch aufsetzt, so hört man zuerst einen der tiefsten dieser Töne; wie die Stärke der Schwingungen nachlässt, kommen der Reihe nach die übrigen sehr deutlich und nur wenig schnarrend zum Vorschein, bis man zuletzt den Ton der Gabel selbst hört. Als Ursache der Entstehung dieser tiefern Töne, die er sämmtlich *Klirrtöne* nennt, gibt er an: »Wenn die Gabel mit ihrem abwärts schwingenden Stiele gegen den Tisch stösst, so wird sie durch diesen Stoss etwas in die Höhe geworfen, fällt aber gleich nachher durch ihre Schwere wieder zurück, um wieder gegen den Tisch zu stossen u. s. w.; sie wird auf diese Weise in eine hüpfende Bewegung versetzt. Daher wird sie nicht bei *jeder* Schwingung den Tisch berühren, sondern, jenachdem sie mehr oder minder leise gegen denselben gehalten wird, und ihre Schwingungen stärker oder schwächer sind, wird sie mehr oder weniger hoch zurückgeworfen, und trifft daher den Tisch nach jeder 6ten, 5ten, 4ten, 3ten oder 2ten Schwingung einmal (und zwar immer mit einer abwärts gerichteten Schwingung des Stiels), wodurch dann die genannten Töne entstehen müssen, und zwar im letzten Falle der von Fischer beobachtete.« S. Poggendorff's Annal. Bd. 40. (116.) S. 545 ff.

Zu S. 244 ff. Nach Strehlke's Angabe lässt sich die Bewegung schwingender Flächen an beliebigen einzelnen Stellen, die den Ruhelinien derselben näher oder ferner liegen, mittelst aufgegossenen Wassers auf folgende Weise untersuchen. Um die

Bewegungen des Wassers genauer zu erkennen, überstäubt man dessen Fläche mit Lycopodium, jedoch nur so, dass letzteres überall eine nur wenig zusammenhängende Fläche darstellt. Darauf taucht man an den Stellen, deren Bewegung beim Tönen untersucht werden soll, eine Schreibfeder oder eine dünne Thermometerröhre in die den schwingenden Körper bedeckende Flüssigkeit und bringt so an diesen Stellen Tropfen hervor. Sobald die Vibrationen beginnen, zeigen sich lebhafte Bewegungen in den halbkugelförmigen Erhöhungen, welche die Wassertropfen auf der schwingenden Fläche bilden. Ist die Erregung nicht gar zu mächtig, so zerfällt die Bewegung der Tropfen in 2 Wirbel, deren Trennungslinie auf der zunächst befindlichen Ruhelinie der Fläche senkrecht ist. Bringt man noch Sand auf die schwingende Fläche, so tritt er sogleich in den Tropfen hinein, aber die stärkste Tonerregung kann ihn nicht aus demselben herausführen. Immer bleiben die Sandanhäufungen im Innern des Tropfens; aber die Lage, obgleich immer in der Richtung der Trennungslinie der beiden Wirbel, ist in Beziehung auf den Mittelpunkt des Tropfens verschieden, je nach der Entfernung, welche der Tropfen selbst von dem Punkte der stärksten Erschütterung hat. In der Nähe dieses Punktes bleibt der Sand in der Mitte des Tropfens, in der Nähe der Ruhelinien der schwingenden Fläche liegt er auf der Seite, welche diesen Linien am nächsten ist. — So lange die Intensität der Schwingung nicht über eine gewisse Grenze hinausgeht, zeigen sich nur 2 Wirbel; wird diese Grenze überschritten, so zerfällt die Bewegung in eine grössere Anzahl kleinerer Wirbel, welche den Wellensystemen voraufgehen, womit zuletzt die Oberfläche des Tropfens sich bedeckt. S. Poggendorff's Annal Bd. 40. (116.) S. 146 ff. und die Abbildung der Wirbel auf Taf. I. Fig. 12. 13.

S. 386. Z. 16. v. o. lies Örsted statt Örstädt (s. S. 248.).

Zu S. 406. Nach Dove kann auch bei *Glocken* eine *akustische Interferenz* (vgl. S. 205.) Statt finden. Er theilt hierüber in Poggendorff's Annal. Bd. 44. (120.) S. 272. folgende Notiz mit: » Schlägt man eine kreisförmige Glasglocke, etwa von den Dimensionen einer kleinen Campane einer Luftpumpe, zum Tönen an, oder erregt den Ton durch einen Violinbogen, so verschwindet dieser Ton vollkommen in der Mitte der Glocke, wie man sich bei dem Vorüberführen der Glocke vor dem Ohre leicht überzeugen kann. Bezeichnet man mit a b, c d

4 um Quadranten von einander abstehende Punkte des Kreisumfanges, so wird dieser, an einem der 4 Punkte zum Tönen angeschlagen, sich in Ellipsen verwandeln, deren grosse Axe abwechselnd mit ac und mit bd zusammenfällt. Es werden also gleichzeitig 2 Verdichtungen (von a und c oder von b und d) und 2 Verdünnungen (von b und d oder von a und c) in der Mitte ankommen, die sich daher aufheben.

Zu S. 420 ff. Über die Längenverhältnisse einer Luftsäule, unter welchen sie bei Vorhaltung einer tönenden Glasscheibe am stärksten, und unter welchen sie am schwächsten resonirt, sind die Angaben von Hopkins denen Anderer und namentlich Savart's entgegengesetzt, s. Poggendorff's Annal. Bd. 44. (120.) S. 619. Bemerkenswerth ist die S. 609. erwähnte Wirkung gewisser Längenverhältnisse der Luftsäule auf die ihre Schwingungen erregende Scheibe. Verkürzt oder verlängert man nämlich langsam die Röhre, in welcher die Luftsäule schwingt, während die ihr vorgehaltene Scheibe durch Streichen mit dem Bogen zum Schwingen gebracht ist, so findet man, dass, so wie die Röhre gewissen Längen nahe kommt, die Scheibe mit geringerer Leichtigkeit schwingt, einen grösseren Druck mit dem Bogen verlangt, und nach Abhebung desselben eine kürzere Zeit forttönt. Zwischen gewissen Längen der Röhre ist es manchmal ganz unmöglich, die Platte in den Schwingungszustand zu versetzen, welchen sie doch bei andern Längen so leicht annimmt. Die Schwingung, wenn sie überhaupt erzeugt wird, scheint dann, nach Abhebung des Bogens, fast plötzlich zu erlöschen, während sie bei Wegnahme der Röhre oder bei andern Längen derselben mehrere Secunden lang hörbar bleibt. Diese Erscheinung tritt jedes Mal ein, wenn die Länge der Röhre um eine halbe Wellenlänge zunimmt; wird dagegen die Länge der Röhre, bei welcher es fast unmöglich ist, die Scheibe in der angegebenen Weise in Schwingung zu versetzen, um eine Viertel-Wellenlänge vermehrt, so wird man die Länge haben, bei welcher die Scheibe eben so leicht wie ohne die Röhre schwingt. Vgl. ausserdem das S. 621 f. aus Willis' Beobachtungen von ihm Angeführte.

S. 435. Z. 21. v. o. lies *übrige gleichzeitige* statt *übrigen gleichzeitigen.*

S. 496. Z. 4. v. u. lies *beschaffen* statt *heschaffen.*

Zu S. 531 ff. Bei der dort erwähnten *Tonerzeugung mittelst Temperaturdifferenz* ist der heisse Körper ein von dem kalten ver-

schiedener, wenn auch beide, wie es bei den S. 534. bezeichneten thermo-magnetischen Ketten der Fall ist, zu Einem Ganzen verbunden sind. Aber auch Ein aus Einem Metalle bestehender Körper kann einen Ton erzeugen, wenn eine solche Temperaturdifferenz unter seinen Theilen entweder durch Erhöhung der Temperatur eines derselben, z. B. mittelst einer darunter gestellten Spirituslampe, oder durch plötzliche Erniedrigung der Temperatur eines Theiles durch aufgelegte Eisstücke oder noch besser durch eine Kälte erregende Mischung bewirkt wird. Wenigstens ist ein solches Ertönen unter den angegebenen Bedingungen von Strehlke bei dicken Zinkscheiben und Zinkstangen beobachtet worden, wobei die erstern in mehrern Punkten unterstützt waren, die letzteren auf 2 prismatischen Stegen ruhten. Seiner Angabe zufolge ist der einer Zinkscheibe so durch Temperaturdifferenz entlockte Ton derselbe, den sie bei gleichmässiger Temperatur transversal schwingend hervorbringt. S. s. Aufs.: Über das Ertönen des Zinks bei Temperaturveränderungen, in Poggendorff's Annal. Bd. 43. (119.) S. 405 ff.

Zu S. 537. Wie dort 2 Luftmassen von verschiedener Temperatur, während sich die Temperaturdifferenz gegenseitig auszugleichen sucht, ähnlich wie die S. 531 ff. erwähnten Metalle von verschiedener Temperatur, eine Reihe von Luftstössen bewirken, die wegen ihrer periodischen Folge als Ton vernommen werden, so tritt auch aus gleicher Ursache dieselbe Tonerzeugung ein bei folgendem von Pinaud beobachteten und genauer untersuchten Verfahren (s. Pinaud: über eine neue Art der Ton-Erzeugung, in Poggendorff's Annal. Bd. 42. (118.) S. 610 ff.). Wenn man an dem Ende einer inwendig feuchten Glasröhre mittelst einer Glasbläserlampe eine Glaskugel ausbläst, und legt die Röhre bei Seite, wenn die Kugel fast noch braunroth glüht, so vernimmt man einen Ton, dessen Höhe nach den Dimensionen der Röhre und ihrer Kugel sich richtet. Dasselbe erfolgt, wenn man die schon erkaltete Kugel in die Flamme einer Weingeistlampe so lange hält, bis sie eine hohe Temperatur erreicht hat. Wenn der Ton hierauf zufällig nicht zum Vorschein kommt, so rührt dieses davon her, dass die Röhre nicht feucht genug ist, und man braucht alsdann nur die Röhre oder selbst die Kugel inwendig zu befeuchten. Die Ursache dieser ganzen Erscheinung liegt darin, dass die in der Kugel befindliche Feuchtigkeit durch die Hitze des Glases in

Wasserdampf verwandelt und ausgedehnt wird. Während nun dieser Wasserdampf der Kugel und die feuchte Luft der Röhre ihre Temperaturdifferenz auszugleichen suchen, üben sie auf einander eine Reihe periodischer Stösse aus, die wir als Ton empfinden. Für die Höhe dieses Tones hat er folgende allgemeine Gesetze gefunden: 1) Der Ton ist, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, desto tiefer, je länger die Röhre ist. 2) Bleiben Länge und Durchmesser der Röhre gleich, so ist der Ton desto tiefer, je grösser die Kugel am Ende der Röhre ist. 3) Endlich ist der Ton, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, desto höher, je grösser der Durchmesser der Röhre ist. — Die beiden ersten dieser Gesetze beruhen wohl darauf, dass die sich gegenseitig ertheilten Impulse desto längere Zeit gebrauchen, um sich durch die Luftmasse fortzupflanzen, je grösser die Länge der Röhre (und somit der feuchten Luftmasse) oder der Umfang der Kugel (folglich auch der Wasserdampfmasse) ist. Beide Gesetze stimmen mit den sonst bei schwingenden Luftsäulen geltenden (vgl S. 548 ff.) zusammen, jedoch nur im Allgemeinen; denn bei der genauern Vergleichung weichen die hier erscheinenden Verhältnisse der Röhrenlänge zu der Tonhöhe von den bei schwingenden Luftsäulen geltenden bedeutend ab, wie man aus folgender Tonleiter ersieht:

Töne	c, d, e, f, g, a, h, $\bar{c}$,
Röhrenlänge	1, $\frac{4}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{12}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{5}{16}$.

Verkürzt man also die Röhre dieses Apparates z. B. um die Hälfte, so erfolgt die höhere Quinte des Tones, den man bei der frühern Länge erhielt. — Das dritte Gesetz, welches am meisten von dem bei schwingenden Luftsäulen geltenden abweicht, scheint mir darauf zu beruhen, dass bei grösserer Weite der Röhre ein häufigeres Zusammenstossen von Theilchen der feuchten Luftmasse mit Theilchen des Wasserdampfes erfolgt, indem nun beide sich gegenseitig eine grössere Fläche zukehren. Je grösser aber so die Zahl der Luftstösse wird, desto höher muss auch die dadurch erzeugte Tonempfindung sein.

S. 544. Z. 1. v. u. lies *wuwern* statt *wummern*.

S. 554. sollten von Z. 7. an alle Zeilen eben so eingezogen sein, wie die 6 obersten, was ich hier zur Verhütung eines Missverständnisses bemerke.

Zu S. 594. Pinaud (über eine neue Art der Ton-Erzeugung, in Poggendorff's Annal. Bd. 42. (118.) S. 611.) erklärt den

Ton der *chemischen Harmonika* auf dieselbe Weise wie die zuvor S. XXXIV f. erwähnte Ton-Erzeugung, die er beobachtet hat. Seine Erklärung sowohl der letztern als der erstern gibt er in folgenden Worten: »Der durch die feuchte Luft in die Kugel gebrachte Wasserdampf dehnt sich durch die Wärme aus und verdichtet sich darauf an den Wänden der kalten Röhre. Durch diese Verdichtung entsteht ein leerer Raum, und die feuchte Luft tritt, um ihn zu füllen, schnell hinein. Der durch diese Luft hineingeführte Dampf dehnt sich sogleich aus und verdichtet sich zum Theil in der Röhre; es entsteht ein neues Vacuum, und abermals ein plötzliches Eindringen der Luft. Es ist also ein zwischen dem Wasserdampf der Kugel und der feuchten Luft der Röhre fortwährend unterbrochenes Gleichgewicht, woraus die Tonschwingungen entspringen. — Die Ähnlichkeit dieser Erscheinung mit der beim Ausströmen eines angezündeten Stromes von Wasserstoffgas aus einer Glas- oder Metallröhre ist unverkennbar. In beiden Fällen wird offenbar der Ton durch dieselbe Ursache erzeugt; nur ist in dem einen der Wasserdampf schon fertig gebildet da, in der an einem Ende verschlossenen Röhre; während in dem andern der Dampf seine constante Quelle in der Verbrennung des Wasserstoffgases hat, und die Röhre an beiden Enden offen ist.« — Ich glaube jedoch, dass beide Arten der Tonerzeugung wesentlich verschieden sind, indem bei Pinaud's S. XXXIV. bezeichnetem Apparate wohl keine stehende Schwingung der Luftsäule desselben, sondern nur periodische Luftstösse durch die beiden verschieden temperirten elastisch flüssigen Körper der Röhre und der Kugel entstehen, die als Ton empfunden werden; bei der chemischen Harmonika aber eine stehende Schwingung der Luftsäule eintritt. Denn bei der letztern erfolgt bei diesem Verfahren derselbe Ton, wie wenn sie auf die gewöhnliche Weise durch Blasen in Schwingung versetzt wird. Bei dem obigen Apparate dagegen weichen die Gesetze, denen die Tonhöhe während der hohen Temperatur der Kugel folgt, mehrfach von denen schwingender Luftsäulen ab (s. S. XXXV.). Ist aber die Kugel vollständig erkaltet, so wird es, nach Pinaud's Beobachtung (a. a. O. S. 618.) unmöglich, der Röhre denselben Ton zu entlocken; wenn es dann überhaupt gelingt, einen reinen und gleichmässigen Ton zu erhalten, so ist derselbe weit höher. Dieses beweist abermals, dass hier nicht die Luftsäule in einer stehenden Schwingung sich befinden könne, weil sonst

auch nach völliger Erkaltung der Kugel sich stets durch Anblasen ein Ton müsste hervorbringen lassen, und zwar ein solcher, der tiefer als der bei der hohen Temperatur der Kugel erfolgende sein müsste, weil mit der Erhöhung der Temperatur einer selbsttönenden Luftsäule auch ihr Ton sich erhöht (vgl. unten S. 605.).

Zu S. 595. Z. 3. v. o. Welche Vorsicht bei Erregung der Schwingungen von Luftsäulen mittelst vorgehaltener tönender Glasscheiben anzuwenden sei, ist S. XXVI. dieser Nachtr. erwähnt.

Zu S. 595 ff. Zu den dort angegebenen *Erregungsarten der Schwingungen der Stäbe* würde noch als eine neue die durch den *elektrischen Strom* bewirkte hinzuzufügen sein, wenn die folgenden Beobachtungen des Dr. Page schon ausser allen Zweifel gesetzt wären. Dieser formte aus einem mit Baumwolle übersponnenen Kupferdrahte eine platte Spirale von 40 Gängen, befestigte sie in verticaler Stellung und setzte die Enden derselben in Verbindung mit den Polen einer Volta'schen Kette. Darauf brachte er dicht neben der Spirale einen Hufeisenmagnet an, am besten so, dass erstere sich zwischen den Polen des letztern befand, ohne sie jedoch zu berühren. Wenn er nun die Kette öffnete oder schloss, so hörte er in dem Magnet einen anhaltenden Ton. Beim Schliessen der Kette war der Ton schwächer als beim Öffnen, wobei man ihn in 2 bis 3 Fuss Entfernung hörte. Er versicherte sich, dass der Ton nicht von dem Funken herrührte, der beim Schliessen oder Öffnen der Kette entstand, indem er diese Operationen sehr weit von dem Orte vornahm, wo sich Spirale und Magnet befanden. Zum Gelingen des Versuchs sind keineswegs sehr starke Magnete erforderlich; mit 3 Magneten, von denen der erste 15, der zweite 10 und der dritte nur 2 Pfund trug, schlug er nie fehl; nur waren die Töne verschieden, und jeder Magnet gab seinen eigenen. Hängt man einen grossen Magnet auf, und klopft ihn mit dem Finger, so gibt er einen Ton; schlägt man ihn sanft mit dem Nagel, so gibt er 2 Töne, einen, der gleich ist mit dem durch den Finger erregten, d. h. seinen natürlichen Ton, und einen, der die Octave von diesem ist. Dieser letztere wird bei dem eben erzählten Versuche erzeugt. S. Poggendorff's Annal. Bd. 43. (119.) S. 411 f. — Ganz verschieden von der Wirkung, die hier der Elektricität zugeschrieben wird, ist die, welche sie bei dem S. 402. Note 22. kurz beschriebenen *Clavessin electrique* ausübt, indem sie hier nur den Körper, welcher

die Schwingungen des Klangkörpers erregt, in Bewegung setzt. — Endlich erwähne ich hier noch die Meinung Sellier's über Erscheinungen der Elektricität tönender Körper. Bestreut man eine vibrirende Platte mit einem kieselerdigen Pulver, so bleibt dieses auf den Knotenlinien liegen. Das Umgekehrte geschieht, wenn man sehr fein gepülvertes Kolophon anwendet; alsdann werden die Knotenlinien entblösst und die schwingenden Theile (die Vibrationscentra) bedecken sich mit dem Harz. Beiderlei Erscheinungen schreibt er der Elektricität des vibrirenden Körpers zu. Das Liegenbleiben des erstern gröbern Pulvers auf den Knotenlinien und des letztern feinern Pulvers auf den Schwingungsmittelpunkten betrachtet er als eine von positiver Elektricität bewirkte Attraction, während er den Knotenlinien, welche bei diesem feinern Pulver entblösst werden, negative Elektricität zuschreibt, und daraus die Folgerung zieht, in einem tönenden Körper zerlege sich die Elektricität (s. Poggendorff's Annal. Bd. 43. (119.) S. 187 f.). Allein schwerlich möchte hier die Elektricität im Spiele sein, und vielmehr die entgegengesetzten Erscheinungen bei beiderlei aufgestreuten Materien aus dem verschiedenen Grade ihrer Feinheit herzuleiten sein, welchem zufolge die gröbere und deshalb schwerere auf den Ruhelinien liegen bleibt, die feinere und daher leichtere aber von den durch die Schwingungen erzeugten Luftströmen bewältigt und auf die Mittelpunkte der Schwingungen fortgerissen wird, wie S. 237 ff. ausführlicher erläutert ist.

Zu S. 617 ff. Hier u. S. 6 ff. werden die Schwingungen nach der gebräuchlichern Weise so gezählt, dass man die Periode eines Hin- und Herganges für *zwei* Schwingungen rechnet, also einen Hingang und ebenso einen Hergang der schwingenden Theile als eine *einfache Schwingung*, und beide zusammen als eine *Doppelschwingung* betrachtet. Neben dieser Zählungsweise besteht eine zweite (S. 627. u. a. erwähnte), wonach ein Hin- und Hergang als eine *einfache* oder *ganze*, und einer von beiden allein für eine *halbe Schwingung* gilt. Für die letztere erklärt sich namentlich Seebeck, besonders deshalb, weil die mittelst einer Sirene oder eines von Savart angewandten Zahnrades ermittelte Schwingungszahl eines Tones nur dann mit der einer Luftsäule oder einer transversal schwingenden Saite, die denselben Ton geben, übereinstimme, wenn man bei diesen *einen Hin- und Hergang zusammengenommen* einem der bei jenen Ap-

paraten gezählten Luftstösse gleichsetze. S. Poggendorff's Annal. Bd. 40. (116.). S. 539 ff.

Zu S. 629. Statt dass hier das 4-füssige c, dem gewöhnlichen Sprachgebrauche zufolge, als mit dem ungestrichenen c gleichbedeutend aufgestellt ist, wird zuweilen das 4-füssige das grosse C, das 1-füssige das eingestrichene u. s. w. genannt, so von E. G. Fischer in s. Lehrbuch der mechan. Naturlehre.

Zu S. 670 ff. Zur Erleichterung der Berechnung eines Combinationstones und der Schwebungen führe ich folgende Worte Seebeck's (aus Poggendorff's Annal. Bd. 40. (116.) S. 542., wo er diejenige Schwingungszählung, bei welcher ein Hin- und Hergang zusammengenommen für *eine* Schwingung gilt (vgl. das zuvor S. XXXVIII. Erwähnte), als die richtige darzuthun sich bemüht) an: »Nach Hällström's Angabe, die mit Blein's Beobachtungen stimmt, ist die Zahl eines Combinationstones gleich der Differenz der Zahlen der ihn erzeugenden Töne; hiernach muss, wenn statt des Combinationstones zählbare Schwebungen entstehen, die Anzahl dieser Schwebungen ebenfalls gleich der Differenz der Zahlen der sie erzeugenden Töne sein, wenn man nach ganzen oder Doppelschwingungen rechnet, oder gleich der halben Differenz, wenn man nach halben oder einfachen Schwingungen zählt. So findet auch Scheibler die Zahl der Schwebungen, dagegen sie Hällström doppelt so gross angibt. Des Letzteren Angaben über die Combinationstöne stimmen also nicht mit seinen eigenen, sondern mit Scheibler's Angabe über die Schwebungen, ein Umstand, den, wie es scheint, beide übersehen haben, weil sie eine halbe oder einfache Schwingung für *eine* Erschütterung genommen haben.«

Halle, im Mai 1839.

Inhalt.

§ 1.

Schwingende Bewegung als Ursache alles Hörbaren.

Alles Hörbare entsteht aus einer gewissen innern Bewegung der Körper. Die Bewegung der Körper überhaupt aber ist von dreierlei Art, entweder eine *fortschreitende*, oder eine *drehende*, oder eine *schwingende*, welche letzte auch *zitternde* Bewegung genannt wird. Diese allein wirkt unter gewissen Bedingungen auf das Gehör; die übrigen Arten der Bewegung wirken, so viel man weiss, nur mittelbar darauf, in so weit nämlich durch sie in den umher befindlichen Körpern eine zitternde Bewegung veranlasst wird (1).

In einer *schwingenden Bewegung* befindet sich ein Körper, wenn seine Theile durch das Streben nach Gleichgewicht sich der Lage, in welcher das Gleichgewicht Statt finden kann, abwechselnd nähern und davon entfernen. *Gleichgewicht* aber ist der Zustand eines Körpers, wo sich die Wirkungen mehrerer bewegender Kräfte gegenseitig aufheben und dadurch einen Zustand der Ruhe hervorbringen (2).

---

1) *Chladni*: Akustik S. 1. (Dieses Werk ist im Folgenden überall gemeint, wo ich bloss die Seitenzahl dem Namen des Verf. beigefügt habe.) 2) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 3.

Diese Bewegungsart eines Körpers hängt ab von seiner *Elasticität* ([3]), d. h. derjenigen Eigenschaft desselben, da er, wenn die Lage seiner Theile durch eine äussere Kraft verändert wird, die vorige Lage derselben wieder herzustellen strebt ([4]). Wir müssen aber alle Körper als in gewissem Grade elastisch annehmen ([5]) (obgleich man nur die, bei welchen diese Eigenschaft besonders merklich ist, *elastische*, die übrigen hingegen geradezu *unelastische* zu nennen pflegt). Daher kommen die Schwingungen in der ganzen Natur, in festen, tropfbar flüssigen und elastisch flüssigen Körpern vor ([6]).

§ 2.

Der Schall.

Eine hörbare Schwingung eines Körpers nennt man *Schall*. Um das Wesen desselben gehörig zu erfassen, müssen wir kennen lernen 1) sein *Entstehen*, 2) seine *Erregung*, 3) seine *Vernehmbarkeit*, 4) seine *verschiedenen Arten*.

Anmerkung. Welches Wort als *allgemeine Bezeichnung* für *alles Hörbare* gelten solle, darüber sind nicht Alle einerlei Meinung. Bei weitem die Meisten gebrauchen *Schall* dafür. So Chladni (S. 2. u. N. Beytr. S. 57), Sulzer (Theorie III. A. Klang

---

3) *Olivier*: Urstoffe d. m. Spr. S. 3 nennt diese Eigenschaft *Prallheit*. — Die Gebr. *H.* u. *W. Weber* gebrauchen dafür oft den Ausdruck *Spannung* (z. B. Wellenl. S. 481). — So verschieden, wie hier die Ausdrücke sind, deren man sich zur Bezeichnung der nämlichen Sache bedient, ist auch der Umfang der Bedeutung, in welcher man das Wort *Elasticität* gebraucht findet, wie man z. B. aus der Vergleichung von *Gehler*: phys. Wörtb. Th. V. A. Elasticität S. 244, *Conv.-Lex.* A. Elasticität, u. *W. Weber's* A. Chladni in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. XXI. S. 181 ersieht.

4) *Chladni* S. 1. — *Conv.-Lex.* A. Elasticität.

5) *Gehler*: phys. Wörtb. Th. I. A. Elasticität S. 696 f. — *v. Baer* I. S. 258. — *Pellisov*: über Schall u. s. w. S. 14. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 481. — Ein Körper kann elastisch sein a) durch *Spannung*, b) durch *Zusammendrückung*, c) durch *innere Steifigkeit* (*Chladni* S. 2, N. Beytr. S. 61, Beytr. z. pr. Ak. S. 3. — *W. Weber*: A. Chladni a. a. O. S. 180, u. s. Akustik S. 8. 16). Die Gebr. *Weber* nennen (Wellenl. S. 481) die bei c. genannte Art *natürliche*, die bei a. u. b. *vergrösserte* Spannung (Elasticität).

6) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 24.

S. 23 ff.), **Harris** (S. 252), **Gehler** (Phys. Wörtb. III. A. Schall S. 799), **Koch** (Mus. Lex. S. 1294), **Gleim** (Fundamentall. S. 1), **Liskovius** (S. 6), **Olivier** (Urstoffe d. m. Spr. S. 4. 7), v. **Baer** (Anthrop. I. S. 257), H. u. W. **Weber** (Wellenl. S. 25 u. a.; u. W. **Weber**: Akustik S. 3 f.), **Schmitthenner** (Ursprl. S. 14 f.), **Baumgartner** (S. 229), **Opelt** (über d. Nat. d. M. S. 9), **Eberhard** (Synon. V. S. 96). An einer andern Stelle (III. S. 286) dagegen stellt dieser den *Laut* dafür als allgemeine Bezeichnung auf, wovon der *Schall* eine besondere Modification sei. G. **Weber** vereinigt beide Ansichten, indem er (Theorie d. Tonsetzk. B. I. S. 1) sagt: »Unter der Benennung *Laut* oder *Schall* begreift man überhaupt alles, was unser Gehör empfindet, was wir durch das Ohr vernehmen, mit Einem Worte alles Hörbare.« (Vgl. S. 2 f.) — G. F. **Grotefend** hingegen nimmt (in d. Frankf. Abh. Stück II. S. 106 f.) den *Hall* für den Hauptbegriff und betrachtet *Schall* und *Laut* als Unterarten desselben. Das Irrige dieser Ansicht, was auch der Recensent in d. Jenaischen Allg. Lit. Zeit. Oct. 1819 Nr. 188. S. 78 schon gerügt hat, erhellet aus dem, was unten vom *Halle* wird gesagt werden. — **Pellisov** (üb. Schall u. s. w. S. 17 f.) stellt den *Knall* als das Allgemeine, oder, wie er es nennt, als das *Element aller Perceptionen*, zu denen wir durch das Organ des Gehörs gelangen, auf. Er gebraucht hierbei, wie man leicht sieht, *Knall* in einer Bedeutung, die von der gewöhnlichen abweicht. Zur Unterscheidung von der letztern nennt er jenen einen *einfachen Knall* (S. 18) und fügt bei jener Behauptung (S. 17) die Beschränkung hinzu: sie gelte von dem *Knalle in seiner Einfachheit und Urwesenheit.* Den *Schall* betrachtet er (S. 18) als die Summe einfacher Knalle.

§ 3.

1. *Über das Entstehen des Schalles.*

Der Schall entsteht aus den Schwingungen eines Körpers; aber nicht der schwingende Körper als *Ganzes* (seine *Totalschwingungen*), sondern die Bewegung seiner *kleinsten Theile* (*Molecule*, mithin seine *Molecularschwingungen*) erzeugt den Schall.

Anmerkung. Dieses ist die Ansicht des la Hire, Carré, Perrault, Musschenbroek, Nollet, Erxleben, Örsted (in Gehlen's Journal der Physik und Chemie Bd. VIII. S. 241), Pellisov in folgenden zuerst Schweigger's Neuem Jahrbuche der Chemie und Physik Bd. VII und IX einverleibten und daraus dann wieder abgedruckten Abhandlungen: 1) Berichtigung eines Fundamentalsatzes der Akustik und Beiträge zur Theorie einiger musikalischen Instrumente. Halle, b. E. Anton. 1833. 8. — 2) Über Schall, Ton, Knall und einige andere Gegenstände der Akustik. Ebendas. 1834. 8. — Diese Ansicht hegt auch der Verf. des Art. Schall im *Conv.-Lex.* — Munke (in Gilbert's Annalen d. Phys. Bd. VIII. S. 79) erklärt wenigstens einen Theil der akustischen Erscheinungen nach eben dieser Theorie; in der neuesten Ausgabe seines Handbuches der Physik aber schwankt er, indem er sagt: »Ob die kleinsten vibrirenden Theilchen eines Körpers, oder der ganze schwingende Körper den Ton hervorbringe, ist noch nicht ausgemacht« (s. Pellisov: Berichtig. u. s. w. S. 1). — Gegen diese Ansicht erklärt sich Gehler: phys. Wörtb. III. A. Schall S. 801, auf die Schwingungsknoten (s. unten) sich berufend. Allein dadurch, dass beim Schwingen der Körper in dem weiter unten angegebenen Falle gewisse Punkte oder Linien in Ruhe bleiben, wird nimmermehr jene Theorie widerlegt. — Chladni wird zwar ebenfalls als ein Hauptgegner der oben ausgesprochenen Ansicht betrachtet; allein an einigen Stellen seiner Akustik spricht auch er sich entweder entschieden, wie S. 261 Anm., oder mit einem »vielleicht«, wie S. 61, *für* dieselbe aus. — Auch die Gebr. H. u. W. Weber gelten als Gegner jener Theorie (vgl. Pellisov: Berichtig. u. s. w. S. 2). Indess in dem von ihnen (Wellenl. S. 258) aufgestellten Satze, dass ein Körper nur dann *selbst töne*, wenn er in eine *stehende* Schwingung (d. h. in eine solche, bei welcher alle Punkte gleichzeitig schwingen) versetzt sei, finde ich noch keine Widerlegung der obigen Theorie, da aus demselben nur folgt, dass die vereinte Bewegung aller Molecule erfordert werde, um einen Körper zu einem *selbsttönenden* zu machen. Aber auch sie selbst schreiben den Molecularschwingungen die Ursache des Schalles zu, da sie die Stärke des Schalles der Luft nicht auf dem Umfange der Luftwellen, sondern auf der Grösse der Bahn, die jedes durch die Welle bewegte Lufttheilchen durchläuft, beruhen lassen, Wellenl. S. 504.

§ 4.

2. *Über die Erregung des Schalles.*

Entsteht der Schall aus Molecularschwingungen eines Körpers, so wird er erregt, indem diese hervorgebracht werden. Dieses geschieht entweder durch einen *Stoss*, oder durch einen *Zug*, oder durch eine *Reibung*, die hier wie eine Folge von Stössen oder Zügen, die in schiefer Richtung geschehen, wirkt ([1]).

§ 5.

3. *Über die Vernehmbarkeit des Schalles.*

Die Vernehmbarkeit der Bewegung der Molecule eines Körpers als Schall hängt ab

1) von der *Beschaffenheit dieser Bewegung selbst.* Diese beruht auf der Qualität und Quantität *a)* des schwingenden Körpers, *b)* des seine Schwingungen erregenden, *c)* desjenigen, an welchen oder in welchem der erste geschwungen wird, und auf der Art der Bewegung des bei *b.* genannten. Als allgemeine Erfordernisse jener Bewegung gelten:

a) dass sie *stark genug* sei. Da diese Bedingung im engsten Zusammenhange mit der Empfänglichkeit des Ohres steht, diese selbst aber so verschieden ist, so

1) So *Chladni* S. 60. Die von *W. Weber*: Akustik S. 20—23 angegebenen tonerregenden Mittel: *Stossen*, *Schlagen*, *Reissen*, *Zupfen*, *Reiben*, *Streichen*, lassen sich mit Leichtigkeit auf jene 3 zurückführen. Wie und wo diese angewandt werden, zeigt die von *Chladni*: Beytr. z. pr. Ak. S. 4—9 gegebene Übersicht der musikal. Instrumente, so wie die kürzere von *W. Weber* a. a. O. — Der Verf. des A. Schall im *Conv.-Lex.* gibt *Stoss* u. *Reiben*; *Olivier* (Urstoffe d. m. Spr. S. 1) *Stossen* u. *Streichen* (S. 9 aber: *Streichen*, *Reiben*, *Stossen*, *Schnellen*) als Schall erregende Ursachen an. Nur jene beiden gibt auch *W. Weber* (in der Hall. Encycl. Sect. I. Th. XXI. A. Chladni S. 180) als diejenigen an, wodurch *Chladni* die Körper zum Tönen gebracht habe. Hiervon weicht *Pellisov*, indem er (üb. Schall u. s. w. S. 19) behauptet, dass nur durch den *Stoss* ein hörbares Phänomen entstehe, bloss scheinbar ab. Denn das *Reiben* oder *Streichen* erwähnt er deshalb nicht besonders, weil er es als eine *Reihe von Stössen* betrachtet (s. Berichtig. u. s. w. S. 7).

kann hier keine bestimmte Grenze angegeben werden;

a) dass sie *innerhalb gewisser Grenzen der Schnelligkeit* sich halte. Über diese Grenzen aber, bei deren Überschreiten das menschliche Ohr keinen Schall mehr vernimmt, findet man verschiedene Angaben. Als Minimum der Schnelligkeit gilt gewöhnlich, dass 30 bis 32 Schwingungen in einer Secunde erfolgen müssen. So gibt Chladni S. 2 als Minimum »ungefähr 30 Schwingungen in einer Secunde« an. Die Gebr. H. und W. Weber bemerken (Wellenl. S. 527), zunächst in Bezug auf Zungenpfeifen, dass bei diesen ein hörbarer Ton entstehe, wenn die Stösse, welche die Luft in der Pfeife von der in dem hölzernen Canale befindlichen erhält, schneller auf einander folgen, als ungefähr 32 Mal in einer Secunde; in der Akustik S. 4 aber gibt W. Weber als Minimum zur Erzeugung einer Schallempfindung an, dass 15 Wellen in einer Secunde an das Ohr anschlagen müssen. Denkt man hier an ganze Wellen, deren jede eine verdichtete und eine verdünnte Welle enthält, und die Wirkung einer Doppelschwingung, d. h. einer Hin- und Herschwingung eines Körpers ist, so weicht diese Angabe von jenen nur scheinbar ab, da 15 Doppelschwingungen 30 einfachen Schwingungen gleich sind. Baumgartner sagt S. 236 f. (hier und auf der folgenden Seite 8. führe ich dieses B. nach der 4ten, an allen übrigen Stellen nach der 3ten Aufl. an), dass, wenn Menschen von gewöhnlichem Gehör einen Schall vernehmen sollen, die Anzahl der Schwingungen nicht geringer als 32 in einer Secunde sein darf. Manche Menschen aber, fügt er hinzu, nehmen schon bei 30 und wenigern Schwingungen einen Schall wahr, ja wenn einmal ein solcher vernehmbar ist, so kann die Schwingungszahl

sich weit unter 32 vermindern, und man wird ihn bei gehöriger Aufmerksamkeit doch noch immer wahrnehmen können. Auch Savart gibt in s. Notes sur la sensibilité de l'organe de l'ouïe [1] 30 oder 32 einfache Schwingungen als das Minimum an. Allein in s. Abhandl.: Sur la limite de la perception des sons graves versichert er, dass er mittelst seines Apparates vernehmbare tiefe Töne hervorbringen könne, die nur 14 — 16 Schwingungen in einer Secunde machen, dass aber diese Schwingungszahl bei der Construction und Grösse seines Apparates die Grenze sei, bei welcher der *son ronflant* in einen *stetigen Ton (son soutenu)* übergehe, bei Apparaten kleinerer Dimension aber trete der Übergang zum son soutenu erst ein bei vermehrter Anzahl der Schwingungen. Er rechnet demnach, eben so wie Sulzer [2], zu dem Wesen eines nach Höhe und Tiefe bestimmbaren Schalles, mithin eines Klanges, dass die *einzelnen* Schwingungen *nicht* als solche vernommen werden dürfen, sondern der Schall bei jeder Stärke und Schwäche *stetig* dahin fliessen müsse. Diese Stetigkeit aber hängt ihm zufolge von der besondern Art seiner Hervorbringung ab. Auf jene Experimente nun

---

1) In den Annales de Chimie et de Physique, par *Gay-Lussac* et *Arago*. Tome XLIV. Août 1830. Paris, chez Crochard. p. 338. 352. 2) Theorie III. A. Klang S. 23 f.: »Der Klang ist ein anhaltender steter Schall, der von dem blossen Laut dadurch unterschieden ist, dass dieser nur einzele abgesetzte Schläge hören lässt, wie die Schläge eines Hammers; da der Klang anhaltend ist. Wie sich das Herunterfallen einzeler Tropfen, sie folgen schneller oder langsamer auf einander, zu dem steten Rinnen eines Wasserstrales verhält, so verhält sich der blosse Schall oder Laut, der aus einzelen Gehörtropfen besteht, zu dem Klang, der ein ununterbrochenes Fliessen des Schalles ist. Die Naturkündiger sagen uns, dass auch der Klang, ob er gleich uns als anhaltend vorkommt, aus wiederholten einzelen und würklich abgesetzten Schlägen bestehe, die aber so schnell auf einander folgen, dass wir den Zwischenraum der Zeit von einem zum andern nicht mehr empfinden, sondern sie in einem steten Ton zusammen hängen; das Ohr zeigt sich hiebei, wie das Auge in ähnlichem Falle. Wenn man in der Dunkelheit eine glüende Kohle schnell wegwirft, so scheint uns der Weg, den sie nimmt, ein steter feuriger Strich, oder eine glüende Schnur zu sein, ob wir gleich jeden Augenblick nur einen glüenden Punkt dieser Linie sehen.« (Vgl. § 8. Note 48.)

sich stützend, gibt er auf die Frage, ob es Grenzen der Vernehmbarkeit nach der Höhe und Tiefe gebe, ob nämlich bei zu grosser Langsamkeit der Schwingungen kein Schall mehr stetig sich bilde, und ob bei zu grosser Geschwindigkeit der Schwingungen der Schall gleichfalls unvernehmlich werde, in jener Abhandlung eine verneinende Antwort ([3]). Dessen ungeachtet bleibt wohl, wie auch **Fischer** ([4]) annimmt, die früher als Minimum angegebene Grenze wenigstens in der praktischen Musik zur Zeit noch in Gültigkeit, weil es nicht möglich scheint, durch irgend eins der gebräuchlichen musikalischen Mittel, Saiten, gespannte Membrane, Blasinstrumente (im weitesten Sinne) und menschliche Stimmen, einen stetigen Ton hervorzubringen, welcher weniger als 32 Schwingungen in einer Secunde macht. — Noch grösser ist die Verschiedenheit in Hinsicht der andern Grenze, des Maximums der Schnelligkeit. **Biot** ([5]) nimmt 8192, **Chladni** ([6]) 12000, **OLivier** ([7]) 16000, **Young** ([8]) 18000—20000 als grösste Schwin-

---

3) Er sagt nämlich in den schon angeführten Annales de Chimie et de Physique Tome XLVII, der diese Abh. enthält, p. 69: Ainsi jusqu'ici rien n'établit, qu'il y ait des limites tant à la perception des sons graves qu'à celle des sons aigus et au contraire les faits *semblent* établir, que si la durée de la sensation produite par chaque choc pouvait être diminuée proportionnellement à l'augmentation du nombre des chocs dans un temps donné, les sons les plus aigus seraient perçus avec tant de facilité que ceux qui le sont beaucoup moins; tandis que au contraire, si l'on pouvait augmenter la durée de la sensation produite par chaque coup proportionnellement à la diminution de leur nombre, les sons les plus graves seraient aussi facilement perceptibles et aussi soutenus que ceux qui sont moins graves et qui semblent plus en relation avec la sensibilité de notre organe.

4) Üb. d. akust. Verb. d. A. S. 12; in einem gewissen Falle aber, nämlich beim Zusammenklang mehrerer Töne (s. § 28) nimmt auch er an, dass die Stetigkeit eines Tones schon mit 16 Schwingungen in einer Secunde erhalten werde.

5) S. *Baumgartner* S. 237. Hiermit stimmt im Allgemeinen auch *Fischer* überein, welcher S. 12 sagt: »Nach der Höhe ist die Grenze weniger bestimmt; die höchsten Töne wird man auf der Geige haben, wo freilich das Instrument und die Geschicklichkeit des Spielers bedeutenden Unterschied macht, doch wird man selten das fünfgestrichene c überschritten hören, welches 8192 Schwingungen in einer Secunde macht, wiewohl man gewöhnlich als Grenze das sechsgestrichene c mit 16384 Schwingungen angiebt.«

6) S. *Baumgartner* S. 237.

7) Urstoffe d. m. Spr. S. 12.

8) S. *Baumgartner* S. 237.

gungszahl für eine Secunde an. Nach W. **Weber** (9) sind 30000 in einer Secunde an das Ohr anschlagende Wellen das Maximum. **Savart** zeigt in s. oben erwähnten Notes sur la sensibilité de l'ouïe (10), dass man, wenn man dafür sorgt, dass die Töne beim Höherwerden nicht zu sehr an Intensität abnehmen, noch bei 48000 Schwingungen einen Schall vernimmt, ja er vermuthet (11), dass selbst bei einer noch grössern Schnelligkeit der Schwingung ein unserem Ohre vernehmbarer Schall Statt finden könne. In der andern ebenfalls angeführten Abhandlung: Sur la limite u. s. w. (12) aber leugnet er, dass es überhaupt eine Grenze der Höhe gebe, obgleich sein Experiment mit einem metallenen, an der Peripherie mit Zähnen versehenen Rade, welche beim Umschwung an eine Platte schlugen, auf eine solche Grenze hinzuführen scheint; denn sobald die Schnelligkeit des Umschwunges eine gewisse Grenze überschritt, verschwand der zuvor dadurch erregte starke Schall (13). Dass es indess keine absolute Grenze der Art geben könne, ergibt sich schon daraus, dass, während der Mensch im Allgemeinen die Töne bis auf 6 Octaven über dem mittleren E des Pianoforte hören kann, von Manchen schon Töne, die nur um 4 Octaven höher sind als dieses E, nicht mehr vernommen werden (14).

2) von der *Beschaffenheit der Gehörwerkzeuge dessen, der den Schall vernehmen will.* Wir müssen hier eine *dauernde* und eine *momentane* Beschaffenheit derselben unterscheiden.

---

9) Akust. S. 4. 10) In den Annal. de Chim. et de Phys. T. XLIV. p. 342. 11) A. a. O. S. 343. 12) S. die in der Note 3 daraus angeführten Worte. 13) S. *Treviranus*: Ges. d. org. Leb. B. II. Abth. I. S. 53. 14) S. *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 333. — Vgl. *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 25 f.

a) In Betreff der *dauernden* Beschaffenheit lässt sich nur die allgemeine Regel aufstellen, dass die Gehörwerkzeuge überhaupt, wenigstens die innern, in gutem, gesundem Zustande sein müssen. Denn die Empfänglichkeit derselben ist so verschieden ([15]), dass sich keine absolute Grenze der Hörbarkeit angeben lässt. Zu dieser *allgemeinen Tauglichkeit* der Gehörwerkzeuge muss, wenn ein zu ihnen geleiteter Schall gehörig soll vernommen werden, noch hinzukommen

b) die *momentane Empfänglichkeit* derselben, deren Verschiedenheit von jener daraus erhellet, dass sie fehlen kann, ohne dass daraus ein Mangel der allgemeinen Tauglichkeit sicher gefolgert werden darf. Diese momentane Empfänglichkeit findet Statt, wenn in dem Moment, wo der Schall zum Gehöre geleitet wird, die Hörnerven die nöthige Reizbarkeit haben. Letztere hängt von 2 negativen Bedingungen ab:

α) der Hörnerv muss nicht durch zu lange fortgesetztes oder sehr gespanntes Aufmerken auf einen Eindruck unempfindlich gegen denselben geworden sein. Denn die Steigerung der Empfänglichkeit des gereizten Theiles hat bei allen Einwirkungen eine Grenze, jenseits welcher sie wieder abnimmt ([16]). Auch darf sich

β) nicht ein anderer Theil des Nervensystems auf der höchsten Stufe seiner Reizbarkeit befinden, weil zufolge des hier obwaltenden Antagonismus in diesen Momenten die Reizbarkeit wie in andern Nerven, so auch in denen des Ohres unter ihren gewöhnlichen Grad vermindert ist. So versagt z. B.

---

15) *Lühr*: d. Nat. u. d. M. B. IV. S. 82 f. — *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 322 f. 333.
16) *Treviranus*: Ges. d. org. Leb. B. II. Abth. I. S. 45.

das Gehörwerkzeug seine Dienste in dem Augenblick, wo das Auge mit dem Auffassen eines Gesichtseindrucks ganz beschäftigt ist ([17]);

3) von dem *gegenseitigen Verhältnisse dessen, der den Schall hören soll und des schwingenden Körpers.* Da nicht das *äussere Ohr*, sondern das *innere* (das *Labyrinth)* der eigentliche Sitz des Gehöres ist, weil sich nur in dieses die Gehörnerven erstrecken ([18]), so kann eine unmittelbare Vernehmung des Schalles nur dann Statt finden, wenn die jene innern Hörwerkzeuge berührenden Knochen selbst die durch ihre Schwingungen den Schall erzeugenden Körper sind. Die Schall erzeugenden Schwingungen aller übrigen Körper können zu dem innern Ohre nur mittelbar gelangen:

a) entweder mittelst der vor dem Labyrinthe liegenden *Trommelhöhle*, der die Schwingungen durch das *Trommelfell* mitgetheilt werden ([19]), welches sie selbst erst empfängt

---

17) *Treviranus* a. a. O. S. 45 f. vgl. mit S. 44. Dass ein solcher Antagonismus, namentlich in Hinsicht des Gehörs, auch bei den Thieren sich findet, beweist z. B. der Auerhahn, welcher während des Balzens in den Momenten des Schleifens weder sieht noch hört, so dass in diesen der Jäger diesem sonst so schlauen Vogel unbemerkt sich nähern kann.

18) *Sömmering*'s Abbildungen des Hörorgans und Erklärung derselben in *Heinse*'s Hildeg. v. H. B. III. S. 361—8. — *Chladni* S. 280—4. — *v. Baer* I. S. 255 u. d. 8te Kupfertaf. — *Moser*: A. Ohr in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. II. S. 420. — So gewiss es ist, dass das Labyrinth der Sitz des Gehörsinnes sei, so ungewiss ist es dagegen, die Bestimmungen der drei Theile, in welche es bei dem Menschen, den beiden obersten Classen der Thiere und einer Unterabtheilung der dritten Classe zerfällt, des Vorhofes, der Bogengänge und der Schnecke, im Besonderen anzugeben. Vermuthungen darüber stellen *Sömmering* a. a. O. S. 366. — *Autenrieth* u. *Kerner* in *Reil*'s u. *Autenrieth*'s Archiv f. d. Physiologie B. IX. S. 313. — *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 401 ff., vgl. dessen: Ges. d. org. Leb. B. II. Abth. I. S. 107. — *v. Baer* I. S. 272 f. — *Choulant*: drei anthrop. Vorl. S. 72 auf; s. dagegen *Chladni* S. 288 f. — Eben so wenig lässt sich darüber, wie aus dem Labyrinthe durch die Gehörnerven der empfundene Schall zum allgemeinen Sensorium, dem Gehirne, geleitet werde, etwas Gewisses sagen. Wer Vermuthungen darüber begehrt, lese *Priestley*: psychol. Versuche in *Hissmann*'s Magaz. f. d. Philos. I. S. 9 ff. — *Chladni* S. 284 f. — *Ritgen* in *Jahn*'s, *Seebode*'s u. *Klotz*'s N. Jahrb. f. Philol. u. Pädag. I. Suppl.-Bd. 1831. Hft. I. S. 92.

19) Über das Medium, welches die Trommelfellschwingungen durch die Trommelhöhle dem Labyrinthe mittheilt, finden viererlei Ansichten, meines Wissens, Statt. Die Einen nehmen an, dass die Fortleitung

α) von der durch den äussern Gehörgang eindringenden, den Schall leitenden Luft,

β) oder, falls das Ohr des Hörenden sich ganz im Wasser befindet, von dem durch das äussere Ohr eindringenden, den Schall leitenden Wasser (20),

γ) oder auch durch eine Erschütterung des äussern Gehörganges, welche entweder von dem schallenden Gegenstande selbst, oder von einem mit ihm in Berührung stehenden festen Körper (21) bewirkt wird.

In den beiden ersteren Fällen berührt der den Schall leitende Körper das Trommelfell unmittelbar, im letztern nur mittelbar, da er zunächst nur den äussern Gehörgang erschüttert und erst dadurch auf das Trommelfell einwirkt.

Anmerkung. Man nahm sonst an, und Manche sind noch der Meinung, dass auch durch die Mundöffnung Schallstrahlen aufgenommen und durch die *Eustachische Trompete*, den Canal,

---

des Schalles vom Trommelfelle zum Labyrinthe nur durch die Luft der Trommelhöhle geschieht, die drei Gehörknöchelchen aber nur ein Spannapparat des Trommelfelles und des Labyrinthes sind (so *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 370 ff. 382., Ges. d. org. Leb. B. II. Abth. I. S. 129. 132. Über den Zweck dieser Spannung s. S. 132. 134 f. des letztern B.); Andere lassen durch beide die Fortleitung geschehen, nehmen aber die letzteren zugleich für Spanner des Trommelfelles an (so *Moser* a. a. O. S. 419 f. 422. Diese Ansicht erwähnt auch *v. Baer* I. S. 251 f. 268—270, zugleich aber auch S. 269 f. sehr wichtige Einwendungen gegen die Schallleitung durch jene Knöchelchen); Andere halten nur die Schallleitung für den Zweck beider (so *Chladni* S. 278. 284); noch Andere lassen den Schall nur durch die Gehörknöchelchen fortgeleitet werden, entweder ohne ihnen eine andere Function zuzuschreiben (so *Meiner*: die Krankheiten des Ohres und Gehöres S. 8), oder so, dass sie diese zugleich, jedoch nur in gewissen Fällen, auch als Spanner auf das Trommelfell wirkend betrachten (so *Hildebrandt*: Physiol. S. 254). — Eben so sind auch über den Zweck des Trommelfells die Physiologen noch nicht allgemein einverstanden, vgl. *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 369. 374 f. 378—81. — *v. Baer* I. S. 267 f. 20) Hieher gehört z. B. der von *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 531 erzählte Fall. 21) Das Erstere findet z. B. Statt, wenn man, nachdem man sich beide Ohren so verstopft hat, dass man den Schlag einer Taschenuhr, die in der Nähe des Ohres gehalten wird, nicht mehr vernimmt, ihren Schlag dadurch wieder hörbar macht, dass man die Uhr an den Ohrknorpel hält (s. *v. Baer* I. S. 263 f.). Das Letztere dagegen wird z. B. bewirkt durch einen in das äussere Ohr gehaltenen Stab (s. *Chladni* S. 263 f.) oder Finger (s. *Herholdt* in *Reil's* Archiv f. d. Physiol. B. III. H. 2. S. 177 f. — *Köllner* ebend. IV. 1. S. 111 f. — *Reich*: Blicke a. d. Thstm. S. 89).

welcher bekanntlich die Trommelhöhle mit dem Rachen, und durch diesen mit der Nasen- und Mundhöhle verbindet, in die Trommelhöhle geführt würden (s. Herholdt in Reil's Archiv f. d. Physiol. B. III. H. 2. S. 165 f. — Treviranus: Biol. B. VI. S. 388). Hierbei müssen aber die, welche schlechthin behaupten, auch durch jenen Canal würden Schälle vernommen, gleichviel woher sie kämen, wohl unterschieden werden von denen, welche dieses auf die Schälle der eigenen Stimme beschränken. Zu den erstern gehört F. Struve, welcher (in s. Kurz. Unterr. f. Taube u. Tbst. S. 16) das Hineinsprechen in den Mund tauber Personen als ein Mittel angibt, sich mit ihnen zu verständigen. Zu den letztern gehört v. Baer, der in s. Anthrop. I. S. 271 hierüber Folgendes bemerkt: »Ein Hauptzweck der Ohrtrompete scheint überdies darin zu bestehen, den Schall der eigenen Stimme in die Trommelhöhle zu leiten. So hört man, wenn man mit den Fingern sich beide Gehörgänge verstopft, dennoch seine eigene Stimme sehr deutlich. Dieses Hören könnte allerdings auch durch die Schädelknochen vermittelt werden, wie wir bald sehen werden; allein die vergleichende Anatomie giebt uns für die Meinung, dass man vermittelst der Eustachischen Röhre sich selbst hört, einige Gründe. Nur diejenigen Thiere, die eine Stimme hervorzubringen im Stande sind, haben eine Eustachische Röhre, und zwar ist sie bei allen mit dem einen Ende gegen den Kehlkopf und mit dem andern gegen das Trommelfell gerichtet.« — Die Art, wie auf diesem Wege der Schall zu den Gehörnerven gelangte, würde dann der durch das äussere Ohr nebengeordnet sein, sofern bei der letztern das erschütterte Trommelfell, bei der erstern dagegen die durch jene Röhre eintretenden Schallwellen die drei Gehörknöchelchen und die Luft der Trommelhöhle in gleichartige Bewegung versetzten und so den Schall dem Labyrinthe mittheilten. Allein von Andern wird diese Function jener Trompete bezweifelt z. B. von Chladni (S. 278, vgl. S. 263), oder entschieden geleugnet, wie von Köllner (in Reil's Archiv f. d. Physiol. B. II. H. 1. S. 19. B. IV. H. 1. S. 110), Herholdt (ebendas. B. III. H. 2. S. 167), Treviranus (Biol. VI. S. 388 f., Ges. d. org. Leb. B. II. Abth. I. S. 115) und Fischer (in s. Aufs.: »Über das Hören vermittelst des Tastsinns«, im Morgenblatt Jahrg. 1835. Aug. Nr. 192 — 195, Nr. 192. S. 766). Moser lässt a. a. O. S. 422, wo er die verschiedenen Functionen dieser Röhre angibt, die Sache unentschie-

den. Welche andere oder alleinige wichtige Function diese Röhre habe, zeigen Köllner a. a. O. B. IV. H. 1. S. 114 f. — Chladni S. 277 f. — Treviranus: Biol. B. VI. S. 386 ff., Ges. d. org. Leb. B. II. Abth. I. S. 122. 136. — Vgl. Moser a. a. O. S. 422 u. Blasius: A. Ohrkrankheiten, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. II S. 432.

b) oder mittelst *der den innern Gehörwerkzeugen benachbarten Knochen* (22), denen die den Schall zum innern Ohre fortleitenden Schwingungen mitgetheilt werden,

α) entweder durch die *Luft* (23),

β) oder durch *feste Körper*. (24)

Anmerkung. Fr. Fischer (Prof. d. Philos. zu Basel) meint in s. schon angeführten Aufsatze: »Über das Hören vermittelst des Tastsinns«, im Morgenbl. Jahrg. 1835. Aug. Nr. 192—195,

---

22) *v. Baer* I. S. 273 ff. — Nach *Perolle's* im Journal de physique Nov. 1783 mitgetheilten (u. daraus von *Chladni* S. 286 f. u. *Fischer* im Morgenbl. 1835. Aug. Nr. 193 S. 771 angeführten) Untersuchungen über die zur Fortpflanzung des Schalles geeigneten Knochen sind dazu am meisten die Zähne geschickt, besonders die Schneidezähne (vorzüglich des Oberkiefers, vgl. *Chladni* S. 263 f. — *Fischer* a. a. O. Nr. 193. S. 771), nächst diesen der vordere und untere Winkel des Vorderhauptbeines, auch das Stirnbein, das Hinterhauptbein, die Schläfe und der hintere Theil des Halses bis zum 4ten und 5ten Wirbel. 23) Dieses geschicht, indem man gegen einen jener Knochen spricht, s. *Köllner* a. a. O. B. II. H. 1. S. 22. — *Chladni* S. 287. — *F. Struve*: üb. Taube S. 13. 16. — *v. Baer* I. S. 273. — bes. *Fischer* a. a. O. Nr. 193. S. 771 f. 24) Als feste Körper, welche man mit Erfolg dazu gebraucht, werden von *Chladni* S. 262—4 u. *F. Struve*: üb. Taube S. 9—11 namentlich ein dünner Stab (vgl. auch *Moritz*: Magaz. d. Erfahrungsseelenl. B. I. St. 3. S. 88 f., *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 329., *L. Meiner*: Krankh. d. O. S. 167., v. *Baer* I. S. 273. — ein Faden oder ein starker Draht, s. *Gehler*: phys. Wörtb. Th. III. A. Schall. S. 816), eine thönerne Tabackspfeife, ein Sprachrohr, ein Hörrohr (es ist hier nicht von dem gewöhnlichen Gebrauche beider die Rede), ein kleiner Trichter, ein gewöhnliches Trinkglas angeführt und das dabei nöthige Verfahren beschrieben. Man wendet diese Mittel bei Schwerhörenden, Tauben und Taubstummen, wenn die innern Gehörwerkzeuge selbst gut beschaffen sind, und der Fehler bloss in den äusseren liegt (*Herholdt* a. a. O. B. III. H. 2. S. 175 f. u. *Köllner* a. a. O. B. IV. H. 1. S. 112 f. — *Fischer* a. a. O. Nr. 194. S. 774 beschränkt diese Bedingung auf das Hören mittelst der Zähne, vgl. Nr. 193. S. 771), obgleich nicht alle bei Allen, erfolgreich an, weil feste Körper den Schall stärker verbreiten als die Luft. — Manche Schälle sind von der Art, dass selbst der, dessen äusseres und inneres Ohr vollkommen gesund ist, sie nur auf diesem Wege vernimmt. So geben, wie *H.* u. *W. Weber* (Wellenl. S. 532) berichten, manche Arten von Feuerzangen, die eine Art Stimmgabel bilden, angeschlagen einen Ton, den man ohne Hülfsmittel gar nicht vernimmt. Hängt man aber dieses Instrument an einem Faden auf, den man zwischen die Zähne fasst, so klingen dieselben bei zugehaltenen Ohren so stark, wie eine Thurmglocke in mässiger Entfernung.

alles Vernehmen der Laute durch jene Knochen, mit alleiniger Ausnahme der Zähne (doch auch selbst diese nimmt er nach Nr. 193 S. 771 nicht ganz aus), werde nicht durch die *Gehörnerven*, sondern durch den *Tastsinn* vermittelt. Gegen diese Ansicht begnüge ich mich hier der nöthigen Kürze wegen nur Folgendes zu bemerken. Würden die gegen den Schädel gesprochenen Worte, wie Fischer meint, unmittelbar im Gehirne, nicht aber erst mittelst des Gehörnerven vernommen, so würde man dasselbe folgerecht auch bei denjenigen Thieren annehmen müssen, die, des äussern Ohres gänzlich ermangelnd, lediglich durch die Schädelknochen Schalle vernehmen können (s. *Chladni* S. 299. — *v. Baer I.* S. 265, 272. — *Moser*: A. Ohr, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. II. S. 423. — *Treviranus*: Gesch. d. org. Leb. B. II. Abth. I. S. 107 f. vgl. S. 111). Dass diese Thiere aber den durch den Schädel empfangenen Schall nicht unmittelbar im Gehirne, sondern erst mittelst des Gehörnerven vernehmen, wird dadurch ausser allen Zweifel gesetzt, dass sie ein inneres Ohr besitzen (s. d. oben angeführten St.). Sollten wir nun wohl anstehen dürfen, daraus dasselbe für den Menschen zu folgern?

Es ist also, mit Ausnahme des einzigen oben genannten Falles, stets ein den Schall zu unserem Gehöre fortpflanzendes ([25]) Medium erforderlich. Hierzu eignen sich, wie schon aus dem Bisherigen grösstentheils erhellet,

a) sowohl *flüssige* Körper,

- α) *ausdehnbar flüssige*, und zwar nicht bloss die athmosphärische Luft, sondern auch die verschiedenen Gas-Arten ([26]);
- β) *tropfbar flüssige*: Wasser und andere Flüssigkeiten ([27]);

b) als auch *feste* Körper ([28]).

---

25) Wie diese Fortpflanzung, namentlich in der Luft, geschicht, sehe man bei *Baumgartner* S. 231 ff. 26) *Chladni* S. 226—36. — *Pellisor*: über Schall u. s. w. S. 14 f. 27) *Gehler*: phys. Wörtb. Th. III. A. Schall. S. 816 f. — *Chladni* S. 258—61. — *Baumgartner* S. 230. vgl. *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 325 u. *Hamb. Magaz.* B. V. S. 655—63. 28) *Chladni* S. 261—72. — *Baumgartner* S. 230. — und das oben Note 23 Bemerkte.

Diese Medien aber sind, wie in der *Schnelligkeit*, so auch in der *Stärke* und *Weite* der Verbreitung des Schalles sehr von einander verschieden (s. unten). Es reicht daher, um einen Schall zu vernehmen, nicht hin, dass überhaupt ein leitendes Medium vorhanden sei, sondern der, welcher ihn hören will, muss sich auch in einer, der Schallleitungsfähigkeit jenes Medii angemessenen Weite befinden.

Ausserdem wird in gewissen Fällen die *Richtung* des Subjectes gegen den schallenden Körper überhaupt oder gegen gewisse Seiten desselben erfordert. Dieses gegenseitige Zugekehrtsein des Subjectes und des schallenden Körpers kommt, wenn bloss von der Vernehmbarkeit eines Schalles überhaupt die Rede ist, nur dann in Betracht, wenn dieser sehr schwach ist. Da nämlich der Schall um so stärker gehört wird, je mehr sich die akustische Axe der geraden Linie nähert, die von dem Orte der Entstehung des Schalles zum Innern des ihm zugewandten Ohres geht (29), so folgt, dass sehr schwache Schälle nur dann vernehmbar sind, wenn das eine Ohr gerade nach dem schallenden Körper überhaupt hingerichtet ist. Doch bei schwingenden Körpern, welche die Gestalt eines Stabes haben, genügt dieses nicht, sobald der Schall schwächer wird, sondern die Ohrmuschel muss entweder in der Richtung, in welcher derselbe schwingt, oder in einer Richtung, die auf jene Richtung der Schwingung senkrecht fällt, dem Körper zugewandt sein. Denn die Experimente der Gebr. H. und W. Weber (30) mit Stimmgabeln zeigen, dass zwar anfangs der Ton der angeschlagenen Stimmgabel nach allen Richtungen hin gehört werden kann, jedoch mit dem Unterschiede, dass derselbe in der Richtung ihrer Schwingung am stärksten, in der senkrecht auf diese fallenden Richtung nur wenig schwächer, in den zwischen diesen beiden

29) *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 334. 30) Wellenl. S. 506—10.

mitten inne liegenden Richtungen aber auffallend schwach vernommen wird; dass aber, wenn die Stimmgabel nur noch schwach tönt, der Ton in den letztern Richtungen vollkommen unwahrnehmbar sein kann, während er in den beiden erstern noch längere Zeit hindurch gehört wird, so dass man durch Veränderung der eigenen Stellung, oder, was auf Eins hinaus läuft, durch abwechselndes Drehen der Stimmgabel den Ton abwechselnd nicht hören und wieder hören kann. Der Grund dieser Erscheinung liegt in der verschiedenen Stärke der nach den verschiedenen Richtungen hin gehenden, den Ton fortpflanzenden Luftwellen. Die in der Richtung der Schwingung der Stimmgabel in das Ohr dringenden sind die stärksten, und machen daher den stärksten Eindruck auf dasselbe. Dass aber in der senkrecht auf diese fallenden Richtung der Ton fast gleiche Stärke hat, wird von jenen trefflichen Akustikern durch die Annahme erklärt, dass von den erstern Wellen durch eine Art von Reibung fast gleich starke Wellen in einer, jene unter rechten Winkeln durchschneidenden Richtung bewirkt werden ([31]).

§ 6.

4. *Über die verschiedenen Arten des Schalles.*

Die *Art des Schalles* hängt ab:

1) theils von der *Beschaffenheit des schallenden Körpers selbst* und *seiner Schwingungen*,
2) theils von der *Beschaffenheit und Bewegung derjenigen Körper, mit denen jener in unmittelbare oder mittelbare Berührung kommt.*

Die jedesmalige Art des Schalles ist das Product der Zusammenwirkung aller dieser Umstände. Es ist daher nöthig, diese hier wenigstens übersichtlich kennen zu lernen.

31) Wellenl. S. 509 f. Vgl. damit *Chladni's* Erklärung in *Kastner's* Archiv f. d. gesammte Naturlehre B. VII. S. 92. u. *Baumgartner* S. 246.

§ 7.

1. *Einfluss der Beschaffenheit der schallenden Körper und ihrer Schwingungen auf den Schall.*

a) Bei den *schallenden Körpern selbst* kommt es an

α) auf ihre *Qualität,* und zwar

αα) auf die *Qualität der Masse,* d. h. die eigenthümliche Beschaffenheit ihrer Molecule und deren gegenseitige Lage. Es gibt z. B. Metall einen andern Schall als Holz und dieses selbst wieder einen verschiedenen nach seinen Arten. Besonders stark tritt dieser Einfluss der Qualität der Molecule des schwingenden Körpers vorzüglich auf die Höhe und Tiefe der Töne bei den Longitudinalschwingungen (s. unten) hervor. So sind bei dieser Schwingungsart, bei gleicher Länge der Saiten, die Töne einer Messingsaite ungefähr um eine Sexte höher als die Töne einer Darmsaite, und die Töne einer Stahlsaite ungefähr um eine Quarte oder Quinte höher als die einer Messingsaite ([1]). — Ausser dieser *Qualität der Masse* kommt noch

ββ) die *Qualität der Form* in Betracht. Denn sie hat auf die Schwingungsart und somit auch auf den

---

1) *Chladni* S. 76. Wie sich die Töne von longitudinal schwingenden Stäben verschiedener Metalle und Holzarten in dieser Hinsicht zu einander verhalten, s. *Chladni* S. 107 f. Folgende Stelle, die ich aus *Fétis* Aufsatz: Du son considéré dans le timbre, in seiner Revue musicale Tome XIII. VII année. Juillet 1833. Nr. 25. p. 193—96 hier anführe, dient sowohl zur Erläuterung dieses als auch des nächst folgenden Punktes. Er sagt S. 195: Que l'on fasse résonner un tuyau de bourdon fait en bois de chêne, ou en sapin, ou en chêne plaqué en plomb, ou une flûte ouverte en étain fin, à l'unisson de ces tuyaux, ou la même flûte ouverte en étoffe (mélange de plomb et d'étain), ou en zinc, ou en cuivre; que ces tuyaux soient carrés, cylindriques, en cône renversé, à cheminée, etc., etc., tous donneront des sons d'une qualité très différente; les uns seront sourds et voilés, les autres purs et moelleux, d'autres éclatans, mais pleins, d'autres éclatans et secs à différens degrés; d'autres seront grêles, d'autres enfin sembleront avoir une sourdine, et pour tout dire en un mot, mille nuances de sonorité seront le produit de la matière, de la dimension et de la forme des tuyaux, bien que la théorie nous apprenne que c'est l'air et non le tuyau qui est le corps sonore dans les instrumens à vent.

Schall nicht geringen Einfluss. Ein Klumpen Metall oder Glas z. B. gibt einen andern Schall, als wenn derselbe die regelmässige Form eines Stabes, einer Scheibe oder Glocke erhalten. Man könnte hiernach erwarten, dass auch bei den selbsttönenden Scheiben die Verschiedenheit der Form immer eine Verschiedenheit des Tones zur Folge habe, dass also eine quadrate, länglich-viereckige, runde, elliptische, gleichseitig-sechseckige, halbrunde, gleichseitig-dreieckige unter einander in den Tönen abwichen. Dieses findet aber in der Regel nur bei gleichen Klangfiguren (s. unten), also bei gleichen Schwingungsarten Statt, z. B. ein längliches Rechteck gibt einen andern Ton als ein Quadrat, wenn die auf beiden erscheinenden Klangfiguren an Zahl und Richtung der Linien einander ganz gleich sind ([2]). Bei Verschiedenheit der Klangfiguren aber, also bei ungleichen Schwingungsarten, können verschieden geformte Scheiben gleichen Ton geben ([3]).

β) auf ihre *Quantität*, und zwar

αα) die *Quantität aller Molecule* eines Körpers. Denn zwei Körper von gleicher Qualität bringen einen verschiedenen Schall hervor, wenn die Ganzen quantitativ verschieden sind. Deshalb werden die Töne fadenförmiger Körper ohne Resonanz schwächer vernommen als die von Streifen und noch weit schwächer als die von Platten hervorgebrachten ([4]). Eben so sind z. B. gleichgeformte Scheiben in ihren Tönen verschieden, wenn sie bei sonst gleicher Grösse in ihrer Dicke verschieden sind ([5]).

---

2) *Chladni* S. 138. vgl. mit S. 144. 146 ff. 164. 172 ff. 185 ff. N. Beytr. Tab. V. vgl. mit Tab. IX. u. X. 3) Vgl. ausser den eben genannten Stellen, worunter vorzüglich Tab. IX. u. X. hervorzuheben, besonders N. Beytr. S. 48 ff. 52 ff. 4) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 533. 5) *Chladni*: N. Beytr. S. 14.

ββ) die *Quantität der zuerst in Schwingung versetzten Molecule.* Hiervon hängt zum Theil die Höhe oder Tiefe (6) des Schalles ab, wie aus dem unten bei der Qualität der Schwingungen zu Erwähnenden wird deutlicher werden. Folgten wir hier nicht der Theorie der Gebr. H. und W. Weber und Baumgartner's (S. 248), welcher zufolge ein Körper nur dann *selbst tönt*, wenn alle seine Theile gleichzeitig schwingen, oder, mit andern Worten, wenn er sich in einer *stehenden Schwingung* befindet, sondern der Theorie Gottfried Weber's, so würde zu jenem noch hinzuzufügen sein:

und die Quantität der überhaupt in Schwingung versetzten Molecule,

denn dieser nimmt an, dass nicht die Schwingung aller Theile eines Körpers zu seinem Selbsttönen erfordert werde, sondern schon die Schwingung eines Theiles desselben dieses bewirke, auf der Grösse dieses Theiles aber zum Theil die Stärke des Tones beruhe (7).

b) Bei den *Schwingungen* der schallenden Körper haben wir gleichfalls zu unterscheiden:

α) ihre *Qualität.* Diese ist von mehreren Seiten zu betrachten:

αα) von Seiten der *Gleichheit* oder *Ungleichheit der Räume und Zeiten*, in welchen die einzelnen Schwingungen sich wiederholen. Durchlaufen die schwingenden Theile in gleichen Zeittheilchen glei-

---

6) Nach *Pellisov* (Berichtig. u. s. w. S. 8.) hat es auch auf die Qualität des Tones Einfluss, ob der Stoss mehr oder weniger Molecule einer Saite zu bewegen vermöge.

7) Dass dieses seine Ansicht sei, geht aus seinen Worten, Theorie d. Tonsetzk. I. S. 3 deutlich hervor.

che Räume, kehren also die Schwingungen in gleichen Räumen und Zeiten wieder, so heissen sie *gleichförmig, regelmässig, gleichartig,* im entgegengesetzten Falle *ungleichförmig, unregelmässig, ungleichartig.* Nur die erstern sind bestimmbar und erzeugen einen *Klang,* die andern aber bewirken ein *Geräusch* (s. unten).

ββ) von Seiten der *Gestalt,* welche der schallende Körper bei seinen Schwingungen *abwechselnd annimmt.* Diese Gestalt kann namentlich von Seiten der beim Schwingen in Ruhe bleibenden Theile leicht anschaulich gemacht werden. Es bleiben nämlich bei allen Schwingungen eines Körpers, mit Ausnahme des Falles, wo alle einzelne Theile eines Körpers gleichzeitig so in Bewegung gesetzt werden, dass alle zugleich in Schwingung gerathen, und dieselbe auch in gleicher Zeit vollenden und von neuem beginnen ([8]), immer einzelne Theile in Ruhe, während die dazwischen liegenden abwechselnd nach entgegengesetzten Richtungen schwingen ([9]), so dass man sich jene ungefähr wie den Ruhepunkt eines Hebels oder Wagenbalkens vorstellen kann. Bei einer Saite oder einem sehr schmalen Stabe sieht man diese in Ruhe bleibenden Theile als Punkte an, und nennt sie *Schwingungsknoten* ([10]); bei einer Fläche sind es Linien, weshalb man bei diesen von *Knotenlinien* redet ([11]). Die erstern lassen sich leicht sichtbar machen, wenn man z. B. auf die Saite zusammengebogene Papierstreifen legt ([12]), die

---

8) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 18. Mit Ausnahme dieses Falles entspringen die *stehenden* Schwingungen aus *fortschreitenden*, wie jene ausgezeichneten Akustiker *H.* u. *W. Weber* dargethan haben, s. Wellenl. S. 19 ff. 9) So nämlich bei allen *fortschreitenden* Schwingungen und bei allen aus ihnen sich gestaltenden *stehenden.* 10) *Chladni* S. 61, N. Beytr. S. 7. 11) *Chladni* S. 117, N. Beytr. S. 7. 12) *Chladni* S. 67.

letztern durch auf die Fläche gestreuten gröberen Sand ([13]). Denn sobald an der schwingenden Saite oder Fläche der rechte Klang zum Vorschein kommt, werden Papierstreifen und Sand von den schwingenden Stellen herabgeworfen und bleiben erstere auf den Schwingungsknoten, letzterer auf den Knotenlinien in Ruhe und häuft sich hier an. Aus diesen so versichtbarten Knotenlinien bilden sich bei schwingenden Flächen die von Chladni entdeckten *Klangfiguren* ([14]). Es findet aber ein Unterschied Statt zwischen den Klangfiguren *selbsttönender* und denen *mittönender* (*resonirender*) Körper, von denen man die erstern *Klangfiguren* schlechthin, die letztern *Klangfiguren des Mittönens oder der Resonanz*, oder noch kürzer *Resonanzfiguren* zu nennen pflegt ([15]). Jene sind nämlich, um hier nur Einen sichtbaren Unterschied hervorzuheben, stets symmetrisch, diese können auch unsymmetrisch sein ([16]). Von beiden Arten unterscheidet man diejenigen durch Knotenlinien gebildeten Figuren, welche, wie man annimmt, nicht von den tonerzeugenden Schwingungen des Körpers, an welchem sie Statt finden, sondern von kleinen Schwingungen einer höhern Ordnung, die nicht mehr hörbar sind, herrühren. Diese werden daher nicht als Klangfiguren betrachtet ([17]). — Chladni hat gezeigt, wie der Ton selbsttönender Glasscheiben bei gewissen Veränderungen der Klangfiguren entweder bloss quantitativ, oder

13) *Chladni* S. 118. u. N. Beytr. S. 7 f. — Warum *feiner* Sand oder Staub sich hierzu nicht eigne, s. *Chladni* S. 120, N. Beytr. S. 7 f. 69. 14) *Chladni*: Akust. Vorr. S. XVII. u. 118—191, u. N. Beytr. S. 6—11. 39—42. 45 f. Das bei der Hervorbringung derselben auf Scheiben zu beobachtende Verfahren beschreibt er Akust. S. 118 ff., N. Beytr. S. 39 ff. 15) Die beiden erstern Namen s. in *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 539. 541; den letzten in *Pellisov*: Berichtig. u. s. w. S. 18. 16) Die ausführlichere Angabe der Unterscheidungszeichen beider s. in *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 539. 541 f. 17) Ebend. S. 563. vgl. S. 555—562.

auch zugleich qualitativ sich verändert, während andere Veränderungen in jenen Figuren, oder, was diesem gleich gilt, in den Schwingungsarten, keine Änderung des Tones bewirken ([18]).

γγ) von Seiten der *Gleichzeitigkeit* oder *Succession*, in welcher die Molecule eines Körpers schwingen, ob nämlich alle zu gleicher Zeit, oder ob ein Theil derselben nach dem andern schwingt. Im letztern Falle entsteht eine *fortschreitende Schwingung*, im erstern eine *stehende* ([19]). Nur bei dieser letztern kann, nach der Theorie der Gebr. H. und W. Weber ([20]) und Baumgartner's ([21]), ein Körper *selbst tönen.* Sie wird aber auf zweierlei Weise erregt:

a) *unmittelbar*, indem man alle Theile eines Körpers so in Bewegung setzt, dass alle zugleich in Schwingung gerathen und dieselbe auch in gleicher Zeit vollenden und von neuem beginnen ([22]). Bei einer so in Schwingung versetzten Saite findet, so lange sie bloss den durch jene Schwingungsart bewirkten Ton gibt, keine an ihr hin- uud herlaufende Ausbeugung, keine Welle Statt, sondern die Ausbeugung bleibt immer an ihrem Orte, indem sie nur abwechselnd aus ihrer Lage über der Linie der ruhenden Saite unter diese, und umgekehrt bewegt wird, so dass also die Theilchen, welche rechts oder links von dem Gipfel der Ausbeugung liegen, sich immer gemeinschaftlich senken und gemeinschaftlich steigen. Dieses ist die einfachste Schwingungsart;

---

18) *Chladni* S. 132 ff. 157 ff. 171 ff. 185 ff. u. N. Beytr. S. 7 ff. 19 ff. 34 f. 38. 43. 72. u. Tab. IV. V. VIII. IX. X. 19) Ebend. S. 3 ff. 20) Wellenl. S. 258.
21) S. 245 f. 22) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 18.

b) *mittelbar*, durch eine zunächst erregte fortschreitende Schwingung. Indem nämlich bei dieser mehrere gleich breite Wellen, deren Breite einem aliquoten Theile der schwingenden Linie oder Fläche gleich kommt, einander in entgegengesetzter Richtung und mit gleicher Kraft begegnen, verwandeln sie durch ihren wechselseitigen Einfluss auf einander ihre fortschreitende Schwingung in eine stehende ([23]).

Bei der *unmittelbaren* gibt der Körper seinen *Grundton*, d. h. den tiefsten, dessen er überhaupt fähig ist ([24]). Bei der *mittelbaren* dagegen, wobei der schwingende Körper in zwei oder mehrere (aliquote) Theile sich eintheilt, welche in entgegengesetzter Richtung schwingen, und deren jeder von dem andern durch einen festen Punkt (Schwingungsknoten) oder durch eine feste Linie (Knotenlinie) getrennt ist ([25]), entstehen Töne, die sämmtlich höher sind als der Grundton, nämlich wenn der Körper in zwei gleiche Theile sich theilt, die nächst höhere Octave desselben; wenn in drei, die Quinte dieser Octave; wenn in vier, die zweite höhere Octave u. s. w. ([26]). In wie viele Theile aber der schwingende Körper sich theilen soll, hängt von der Grösse desjenigen Theiles ab, der bei der anfangs erregten fortschreitenden Schwingung zuerst in Schwingung versetzt wurde ([27]). Man nennt diese Töne *Theiltöne, Partial-Töne, Aliquot-Töne, Beitöne, Nebentöne, Flageolet-Töne, harmonische Töne* ([28]). Bei diesen Tönen sind zwei Fälle zu unterscheiden:

---

23) Ebend. S. 19 f. 22. 468 ff. 474. 24) Ebend. S. 468. 517. 25) Ebend. S. 472. 26) Ebend. S. 468. vgl. unten § 18. 27) Ebend. S. 468. 513—517. 28) Die vier erstern Namen findet man in *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 11 u. A. Beitöne in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. VIII. S. 380; den sechsten gleichfalls an der letztern

aa) entweder erscheinen sie *allein* und *einzeln*, indem *gleich anfangs* der klingende Körper so in Schwingung versetzt wird, dass er sich in Theile während derselben eintheilt, und den dieser Eintheilung zukommenden Ton ohne Beimischung irgend eines andern Tones hervorbringt ([29]). So geschieht es bei der eben besprochenen mittelbaren Erregung einer stehenden Schwingung, es gibt z. B. ein Körper, dessen Grundton C ist, bloss den Ton c, wenn er sich gleich anfangs in zwei gleiche Theile eintheilt;

bb) oder sie erscheinen *in Verbindung mit dem Grundtone* und *mehrere zugleich*, es kann z. B. ein klingender Körper seinen Grundton, und mit demselben zugleich dessen Octave, die Quinte derselben, die zweite höhere Octave, deren grosse Terz u. s. w. gleichzeitig hören lassen. Die so mit dem Grundtone zu-

---

Stelle u. bei *Chladni* S. 68. u. *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 472; den fünften in *J. H. Liebeskind's* Aufs.: Bruchstücke aus einem noch ungedruckten philosophisch-praktischen Versuche über die Natur u. das Tonspiel der deutschen Flöte, in d. Leipzig. Allgem. musikal. Zeitung. X. Jahrg. Nov. 1807. Nr. 7. S. 97—101; den siebenten ebendaselbst u. bei *Fischer*: üb. d. akust. Verh. d. A., u. bei mehrern Andern, namentlich heissen sie bei französ. u. italien. Schriftstellern dieses Faches *sons harmoniques* oder kurzweg *les harmoniques*, u. *suoni armonichi*. *Fischer* nennt sie auch a. a. O. S. 4: *harmonische Tonreihe*. Was den Grund jener Namen anbelangt, so erklären sich die drei erstern von selbst aus dem eben Gesagten. *Beitöne*, *Nebentöne* heissen sie, weil sie ein klingender Körper *bei* oder *neben* seinem Grundtone zu erzeugen vermag. *Flageolet-Töne* (son flûtés) aber nennt man sie wegen ihrer Ähnlichkeit mit den Tönen des *Flageolet*, einer kleinen, aus Elfenbein verfertigten Gattung der Flöte à bec, womit man den Singvögeln Melodien einlernt. Aus demselben Grunde hat man auch eine besondere Art des Geigenspiels so genannt, wobei der Finger, welcher den anzugebenden Ton greift, die Saite nicht, wie gewöhnlich, auf das Griffbrett niederdrückt, sondern nur ganz sanft berührt, während der Bogen mit einem sehr gleichen, aber schneidenden Striche über die Saite geführt wird. Denn durch dieses Verfahren werden der Saite viel höhere Töne entlockt, als sonst, weil dieselbe in aliquote Theile sich eintheilt (s. *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Flageolet S. 577. — *Chladni* S. 67 f.) — Manche nennen diese Töne auch *akustische Töne*, (s. *G. Weber*: A. Beitöne a. a. O. S. 380), auch *sympathetische Töne* (s. v. *Dalberg*: Versuche, den Dreiklang u. die harmonischen Mitlaute, vermittelst Glasstäben an Metallsaiten hervorzubringen. III., in d. Leipzig. Allgem. musikal. Zeitung. II. Jahrg. Nov. 1799. Nr. 8. S. 145.

29) *Chladni* S. 199. 203 f. — *G. Weber*: A. Beitöne a. a. O. S. 379.

gleich erklingenden höhern *Theil-* oder *Beitöne* bezeichnet man vorzugsweise mit den oben angegebenen verschiedenen Namen ([30]). Auch nennt man sie *natürliche Töne* ([31]). Dieses Mitklingen solcher höhern Töne bei gewissen klingenden Körpern, wenn sie auf die bei a. angegebene Weise ihren Grundton geben, hat darin seinen Grund, dass mehrere Schwingungsarten, die ein elastischer Körper einzeln anzunehmen vermag, auch zugleich an demselben Statt finden können, ohne dass eine die andere hindert, wobei auch bei gehöriger Aufmerksamkeit die diesen Schwingungsarten zukommenden Töne, aber schlechterdings keine andern hörbar sind. Bei der einfachsten transversalen Schwingungsart einer *Metallsaite* ([32]) ist dieses Beisammensein mehrerer Schwingungsarten und Töne am bekanntesten. Während die ganze Saite auf die bei a. bezeichnete Weise sich bewegt, kann auch zugleich jede Hälfte, jeder dritte, vierte, oder überhaupt jeder aliquote Theil seine Schwingungen machen, und man hört alsdann ausser dem Grundtone, der als 1 anzusehen ist, auch die mit den Zahlen 2, 3, 4, 5 u. s. w. übereinkommenden Töne, nämlich dessen Octave und deren Quinte, dessen Doppeloctave und deren grosse Terz u. s. w. ([33]) (vgl. § 19). An einem trans-

30) *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 11. 31) Ebendas. S. 11. 32) Nach v. *Dalberg* a. a. O. Nr. 8. S. 150 erscheinen dergleichen mitklingende Töne nur bei Metallsaiten, nicht aber bei andern Saiten. 33) *Chladni* S. 198 f. u. *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 11 f., A. Beitöne a. a. O. S. 360, u. Cäcilia Bd. IX. H. 35. S. 158. Nach *Schweigger*: Journal f. Chemie u. Physik. Bd. X. Nürnberg, Schrag. 1814. 8. S. 43 erscheinen, wenn eine in Transversalschwingungen versetzte Saite bei ihrer einfachsten Schwingungsart den Ton C gibt, folgende Töne als mitklingende Beitöne: c, g, $\bar{c}$, $\bar{e}$, $\bar{g}$, $\bar{b}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{d}}$, $\bar{\bar{e}}$ u. s. w. »Weiter«, setzt er hinzu, »hört wohl Niemand diese mitklingenden Töne, und schon die letzten werden nur unbestimmt wahrgenommen.« Damit stimmt

versal schwingenden *Stabe* können keine mit der natürlichen Zahlenfolge übereinstimmenden, sondern nur solche Töne beisammen sein, die sehr unharmonische Verhältnisse gegen einander haben ([34]). Eben so können an *Scheiben* mehrere Schwingungsarten und Töne zugleich zugegen sein, die ein Gemisch von mehreren unharmonischen Tönen bilden ([35]). Auch an einer *Glocke* kann man gewöhnlich ausser dem Grundtone noch ein Gemisch von höhern Tönen wahrnehmen ([36]). Auch bei Longitudinalschwingungen einer *Saite*, eines *Stabes*, einer *Luftsäule* in einem Blasinstrumente ist bisweilen mehr als Ein Ton zugleich vorhanden ([37]). Viele musikalische Schriftsteller, die zwar das Mitklingen höherer Töne bei dem Grundtone einer Saite kannten, aber nicht wussten, dass manchen Arten von klingenden Körpern ganz andere Folgen solcher mitklingenden Töne zukommen als die ist, welche oben bei transversal schwingenden Saiten angegeben wurde, dass aber keiner andere Töne zugleich kann hören lassen als die, welche er einzeln zu geben im Stande ist, und dass man durch Dämpfung der Schwingungsknoten jede Beimischung mehrerer Schwingungsarten, und also auch mehrerer Töne verhindern kann, haben behauptet, ein solches Mitklingen der

---

Fischer a. a. O. S. 5 im Allgemeinen überein: »Schwerlich«, sagt er, »möchte eine tiefere Saite die harmonischen Töne weiter als bis in die vierte Octave angeben. Schlägt man auf einem Pianoforte z. B. dass grosse C an, so hört man mit Deutlichkeit die Töne der dritten und auch noch die ersten der vierten Octave (nämlich sehr deutlich $\overline{\overline{d}}$, auch wohl noch $\overline{\overline{e}}$, $\overline{\overline{g}}$); auf einer Äolsharfe aber, wo mehrere im Einklang gestimmte Darmsaiten mit schwacher Spannung vorhanden sind, lassen wohl auch noch höhere Töne sich vernehmen, da auf den einzelnen Saiten die einzelnen aliquoten Theile mit mehr Freiheit schwingen.« 34) *Chladni* S. 203 f. 35) Ebend. S. 205. 36) Ebend. S. 205. 37) Ebend. S. 203.

mit der natürlichen Zahlenfolge übereinkommenden Töne sei eine allgemeine Eigenschaft aller klingenden Körper; sie haben nicht nur das Consoniren und Dissoniren ([38]) aus dem Mitklingen oder Nichtmitklingen gewisser Töne erklärt, und diese eben deswegen *harmonische Töne* genannt (s. Note 28), sondern auch ein Mitklingen der mit den Zahlen 2, 3, 4, 5 u. s. w. übereinkommenden Töne mit einem als 1 anzusehenden Grundtone als den wesentlichsten Unterschied eines Klanges von einem Geräusche angesehen ([39]). Das Irrige dieser Ansicht haben unter den Neuern namentlich Chladni ([40]) und G. Weber ([41]) dargethan, und gezeigt, dass man diese mitklingenden Töne, die man an den Orgeln durch Quinten-, Terzen- und Mixtur-Register ([42]) künstlich nachgeahmt hat, als eine, wenn auch wegen des nur sehr leisen Mitklingens jener Töne unmerkliche, Unvollkommenheit jener klingenden Körper zu betrachten habe; ja sie vermuthen, dass die Zartheit, Weichheit und Klangfülle der Saiten-Flageolettöne ganz oder zum Theil daher rühren möge, dass bei diesen nur sehr wenige oder gar keine Beitöne mit erklingen ([43]). Ganz verschieden von diesem Mitklingen höherer Beitöne ist das Mitklingen

---

38) Die wahre Ursache beider s. § 26. 39) So z. B. *Sulzer*: Theorie III. A. Klang S. 25—27. (Statt des Ausdr. *Geräusch* bedient er sich des Ausdr.: *unangenehme und zur Musik völlig unbrauchbare Klänge.*) 40) S. 206 f. 41) Theorie d. T. I. S. 11—13, A. Beitöne a. a. O. S. 380 f. u. Cäcilia Bd. IX. H. 35. S. 157—159. 42) Diese Register werden daher von *Chladni* S. 207. u. Cäcilia Bd. IX. H. 35. S. 175, u. *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 13, A. Beitöne a. a. O. S. 381, u. Cäcilia Bd. IX. H. 35. S. 160—62 verworfen (vgl. Bd. XII. H. 47. S. 190—92, wo er sie gelinder beurtheilt), vertheidigt dagegen namentlich von *Wilke* in d. Cäcilia Bd. IX. H. 35. S. 163—70, u. Bd. XII. H. 47. S. 192—206. 43) *Chladni* S. 203. — *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 12, A. Beitöne a. a. O. S. 381, Cäcilia Bd. IX. H. 35. S. 159.

eines tiefern Tones bei dem Angeben zweier oder mehrerer höheren Töne, s. § 28.

Anmerkung. Die beim Angeben des Grundtones mitklingenden Töne, von denen bisher die Rede war, haben wie bei den übrigen genannten klingenden Körpern, so auch bei transversal schwingenden Metallsaiten, wenn diese Transversalschwingungen auf die gewöhnlichen Weisen erregt werden, die beiden Eigenthümlichkeiten: 1) *dass sie nur leise mitklingen*, 2) *dass sie von selbst, ohne Zuthun, ohne Absicht dessen, der den Grundton erregt, erscheinen.* Diesen in beiderlei Punkten gerade entgegengesetzt sind die mitklingenden Töne der durch Glasstäbe in Transversalschwingung gesetzten Metallsaiten. Der Entdecker dieser Erregungsweise der Schwingung bei Saiten, Stimmgabeln und Stäben ist Quandt. Man s. seinen Aufs. im Januarstück des Modejournals vom J. 1791, u. in d. Leipzig. Allgem. musikal. Zeitung II. Jahrg. Febr. 1800 Nr. 19. S. 321—4. den Aufs.: »Über die durch Glasstäbe andern Körpern entlockten Töne.« Vgl. Nr. 6—8. Durch diese Entdeckung ist v. Dalberg zur Erfindung einer neuen *Glas-* u. *Saitenharmonica* veranlasst worden, deren Einrichtung und Eigenschaften er mit Beifügung einer Abbildung in der eben angef. musik. Zeitung II. Jahrg. Nov. 1799. Nr. 6. S. 105—111. Nr. 7. S. 129—134. Nr. 8. S. 145—151 in d. Aufs.: »Versuche, den Dreiklang und die harmonischen Mitlaute vermittelst Glasstäben an Metallsaiten hervorzubringen« beschreibt. Zwei höchst merkwürdige Eigenschaften der so in Schwingung gesetzten Metallsaiten dieses Instrumentes sind nun: 1) *dass die mit dem Grundtone erklingenden harmonischen Töne mit dem Grundtone in gleicher Stärke vernommen werden* (s. a. a. O. Nr. 6. S. 110. Nr. 8. S. 149). Zur Erklärung dieser Eigenthümlichkeit fügt er S. 150 Folgendes hinzu: »Die Ursache ist vielleicht diese: weil bisher die Metallsaiten (denn andere Saiten haben die Eigenschaft dieser harmonischen Coëxistenz nicht) nur gekneipt, oder durch Hammer und Stifte, wie an den Clavieren, angeschlagen werden, statt dass sie *hier* durch das sanfte gleiche Auf- und Abreiben auf der Glas-Lamelle in eine stärkere, aber auch gleichmässigere Vibration kommen, wodurch nicht allein die Saite in ihrer ganzen Länge erzittert, sondern auch in ihren einzelnen Theilen, worunter dann vorzüglich die Schwingungsarten, welche die Verhältnisse von $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ haben, oder die Octave, die Quinte und höhere Terzie als die nächsten und analogsten sich dem

Gehör vorzüglich einprägen, indessen die andern entfernteren Verhältnisse zwar mit erklingen, aber sich mit jenem vermischen.« Man kann daher auf diesem Instrumente jeden Ton als harmonischen Dreiklang behandeln, s. Nr. 7. S. 132; 2) *dass es von der Willkühr des Spielenden abhängt, ob er den Grundton mit oder ohne seine harmonischen Beitöne, oder auch einen der letztern allein will hören lassen* (s. Nr. 7. S. 132. Nr. 8. S. 150). Denn ob die harmonischen Töne zugleich mit dem Grundtone erscheinen sollen oder nicht, hängt nach Nr. 8. S. 150 von der Stärke oder Schwäche ab, womit der Finger auf der benetzten Glastaste auf- und abreibt; welcher einzelne Ton aber erscheinen solle, ob Grundton, oder Octave, oder Quinte, oder Terz, das hängt nach Nr. 6. S. 105 f. davon ab, ob man stärker oder schwächer am äussern, der Saite entgegengesetzten Rande des Glasstabes, oder an einer andern der Saite näher liegenden Stelle mit dem Finger streicht.

Die Qualität der Schwingungen haben wir ferner zu betrachten:

δδ) von Seiten der *Richtung*, in welcher die Molecule schwingen. Wenn man bloss diejenigen Schwingungen berücksichtigt, in welcher die Körper selbst tönen [44], so gibt es dreierlei:

1) *in der Richtung der Länge gehende* oder *longitudinale* [45], bei Flächen auch *tangentiale* genannt, weil die Theilchen derselben bei dieser Schwingungsart sich in der Richtung der Tangenten der Fläche bewegen [46];

2) *seitwärts gehende* oder *transversale* [47], und

---

44) Diese Beschränkung füge ich bei in Bezug auf *Savart*, welcher die folgende Eintheilung deshalb verwirft, weil es ihm gelang, auch Schwingungen sichtbar zu machen, wobei die Theilchen des Körpers in vielen andern Richtungen hin- u. herschwangen, die zwischen der Richtung der Länge des tönenden Körpers u. seiner Quere in der Mitte liegen. Allein diese von *Savart* beobachteten beziehen sich theils nur auf die durch Resonanz veranlasste Schwingung, theils auf die kleinen Schwingungen einer höhern Ordnung, die nicht mehr hörbar sind, s. *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 517. vgl. S. 25. 550.

45) *Chladni* S. 65. 75—77. 103—110 u. a. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 23.

46) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 439 f. 548 f.

47) *Chladni* S. 63 f. 66—75. 94—103. u. a. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 23.

3) *drehende* oder *rotatorische*, wobei der schwingende Theil sich abwechselnd rechts und links dreht ([48]).

Manche klingende Körper sind fähig nach mehr als Einer Richtung zu schwingen. So können Saiten longitudinal und transversal, Stäbe aber nach allen drei Richtungen schwingen. Welche dieser Schwingungsarten bei einem solchen Körper erregt werde, ist sehr wichtig deshalb, weil die durch sie hervorgebrachten Töne bei sonst gleichen Umständen sich von einander unterscheiden. Denn die durch sie hervorgebrachten Töne sind von einander verschieden, namentlich bei Saiten,

a) *qualitativ.* Denn die Töne longitudinal schwingender Saiten sind nicht so angenehm, wie die transversal schwingender ([49]); besonders aber

b) *quantitativ.* Denn die longitudinal schwingender sind

aa) beträchtlich *höher*, weil die Molecule in dieser Richtung weit schneller schwingen ([50]), so dass der Unterschied in manchen Fällen mehrere Octaven betragen kann ([51]). Dass auf die stärkere oder schwächere Spannung der longitudinal schwingenden Saite fast gar nichts ankomme, wie Chladni ([52]) behauptet, erkannten die genialen Experimentatoren H. und W. Weber als irrig; denn sie vermochten allerdings auch bei so schwingenden Saiten durch vergrösserte Spannung die Töne zu erhöhen, jedoch nur in geringem Grade, indem sie durch nach und nach

---

48) *Chladni* S. 65. 110 f. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 23. — Die longitudinalen u. drehenden Schwingungen hat *Chladni* zuerst entdeckt. 49) *Chladni* S. 77.
50) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 533. 51) *Chladni* S. 76. 52) S. 76.

bedeutend gesteigerte Spannung doch nur die Erhöhung des Tones E in den von A, B, H bewirkten ([53]).

bb) *stärker*, theils wohl wegen der grössern Intensität dieser Schwingungsart, theils wegen ihrer grössern Höhe, bei welcher sich die Töne der Luft leichter mittheilen ([54]). Daher sind die Töne longitudinal schwingender Glasstreifen sehr weit hörbar; die transversal schwingender dagegen ohne Resonanz kaum wahrnehmbar ([55]).

Diese Verschiedenheit der Töne dieser beiden Schwingungsarten erklärt sich leicht daraus, dass jede derselben eine ganz verschiedene Kraft des Körpers bekämpft, nämlich die *Longitudinalschwingung* tritt in Kampf mit der *Sprödigkeit* des Körpers, d. h. mit seinem Widerstande gegen Verengerungen und Erweiterungen nach der Richtung der Länge, die *Transversalschwingung* dagegen mit der *Steifigkeit* desselben, d. h. dem Widerstande gegen Biegung ([56]). Diese beiden Kräfte aber können an einem Körper sehr verschieden sein an Stärke. Dieses sieht man namentlich an einer Saite. Wie leicht ist ihre Steifigkeit überwunden? Wie ungleich schwieriger ihre Sprödigkeit? Denn der Graf Giordano Riccati fand, dass die Sprödigkeit einer von ihm untersuchten dünnen Messingsaite über 1134 Pfund betrug ([57]).

Dass auch zwischen den Tönen *longitudinaler* und *rotatorischer* Schwingungen ein Unterschied der Höhe sei, lehren Chladni's Versuche, indem er fand, dass bei Stäben der Ton bei einer jeden Art

---

53) Wellenl. S. 554 f. 54) Diesen letztern auf der Empfänglichkeit des schallleitenden Medii beruhenden Grund stellen *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 532 f. auf. 55) Ebend. S. 533. 56) *Chladni* S. 109. 57) Ebend. S. 109.

von drehenden Schwingungen *um eine Quinte tiefer* ist, als bei gleichartigen Longitudinalschwingungen, wenn die Stäbe cylindrisch oder vierseitig prismatisch sind ([58]).

αα) von Seiten des *Ursprungs*. In dieser Hinsicht werden die Schwingungen eingetheilt in *primäre* und *secundäre*. Unter den erstern versteht man die durch den fortgepflanzten Stoss unmittelbar entstehende Bewegung der Theilchen, die immer mit Verdünnung oder Verdichtung des Medii verbunden ist, durch das die Welle fortschreitet. Die secundären dagegen sind Schwingungen (eine Classe von Wellen), welche nicht nothwendig mit Verdünnung oder Verdichtung verbunden zu sein brauchen, sondern bei deren Fortpflanzung eine blosse Verschiebung der Theile, ohne Verdünnung oder Verdichtung, Statt zu finden braucht, und welche ihre grosse Verschiedenheit von der erstern Classe von Schwingungswellen dadurch beurkunden, dass ihr Fortschreiten viel langsamer geschieht als bei jener. Zu diesen secundären kann zwar ein Stoss Veranlassung geben, sie schreiten aber durch eine andere Kraft als die des Stosses fort ([59]). Ihre Namen haben beide davon, dass die erstern mit dem fortgepflanzten Stosse ein und dasselbe, die letztern aber nur eine dem fortgepflanzten Stosse nachfolgende Wirkung sind ([60]). Was die Richtung derselben betrifft, so können die primären, d. h. die den Stoss fortpflanzenden, *longitudinal* (und bei Flächen *tangential*) ([61]) oder *transversal* (oder, wie man sie bei dieser Richtung auch nennt, *normal* ([62])) oder *kugelförmig* sein (das letzte aber nur bei Körpern, die einen so grossen Umfang haben, dass die Ent-

58) Bei grösserer Breite der Stäbe ist der Ton bei den drehenden Schwingungen noch tiefer, s. *Chladni* S. 110. 156. 307 f. 59) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. XXIII. 439 ff. 60) Ebend. S. 442. 61) Ebend. S. 439 f. 62) Ebend. S. 547 f.

wickelung der primären Wellen nach keiner Richtung gehindert wird, wie die Luft oder Felsen ([63])). Meistens aber sind sie bei festen Körpern *longitudinal*, weshalb H. u. W. Weber ([64]) die Ausdrücke: »*primäre Wellen*« und »*longitudinale Wellen*« als gleichbedeutende gebrauchen. Die secundären aber können nur *transversal* sein, weshalb Chladni sie bloss mit dem Namen »*transversale*« bezeichnet ([65]).

Ausser der bisher erörterten Qualität der Schwingungen des schallenden Körpers ist höchst einflussreich auf die Art des Schalles

β) ihre *Quantität*. Diese zerfällt in

αα) eine *räumliche*. Hierbei kommt es auf die Grösse des Weges an, den die schwingenden Molecule zurückzulegen haben, um in den Zustand des Gleichgewichts zu gelangen. Von der Grösse dieser Bahn der schwingenden Molecule, nicht aber des ganzen Körpers ([66]), hängt zum Theil die *Stärke* des Schalles ab ([67]);

ββ) eine *zeitliche*, die wieder von zwei Seiten aufzufassen ist:

a) von Seiten der *Schnelligkeit*, d. h. der Zeit, in welcher der Körper oder seine Molecule jenen Weg hin und her zurücklegen. Hiervon hängt die *Höhe* und *Tiefe* des Tones ab ([68]). Die Ursache der verschiedenen Schnelligkeit der Schwingung liegt in der Qualität und Quantität des schwingenden Körpers, des seine Schwingung erregenden,

---

63) Ebend. S. 440. 547. 64) Ebend. S. 550 u. a. 65) Ebend. S. 551.
66) *Pellisot*: Berichtig. u. s. w. S. 2 f. Ebenso *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 504, eine Stelle, die wir schon oben S. 4. als besonders wichtig hervorhoben. 67) *Gehler*: phys. Wörtb. III. A. Schall S. 803. — *Chladni* S. 232, N. Beytr. S. 57. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 504. Das Weitere hierüber s. unten. 68) *Chladni* S. 3. s. unten § 22.

ferner desjenigen, an den oder in dem er schwingt, endlich in der Art, wie, und der Stelle, wo jener erregende Körper auf den ersten eingewirkt hat. So schwingt, um nur Eines hiervon mit einem Beispiele zu erläutern, eine Saite, besonders wenn sie transversal schwingt, um so schneller, je mehr ihre Elasticität durch Spannung vergrössert ist, und desto höher ist daher auch ihr Ton.

b) von Seiten der *Dauer*, d. h. der Zeit, während welcher unausgesetzt die Schwingung sich wiederholt. Diese hängt theils von der Qualität und Quantität des schwingenden Körpers selbst und desjenigen, an den oder in dem er schwingt, theils von der Dauer der Einwirkung ab, welche die Schwingung erregte. So schwingt, um auch hier nur den Einfluss der Qualität des schwingenden Körpers durch ein Beispiel darzuthun, von zwei gespannten Saiten, die den nämlichen Ton geben, von denen aber die eine aus Darmhäuten verfertigt, die andere eine metallene ist, die letztere weit länger als die erstere ([69]).

§ 8.

2. *Einfluss der die schallenden Körper unmittelbar berührenden Körper auf den Schall.*

In dem Bisherigen betrachteten wir im Allgemeinen den Einfluss, den die Beschaffenheit des schwingenden Körpers selbst, so wie die seiner Schwingungen auf seinen Schall hat. Wir gehen jetzt über zur Betrachtung desjenigen, den

2) *die mit jenem Körper unmittelbar oder mittelbar in*

---

69) Von den beiden, die *Mersenne* gebrauchte, zitterte die Darmsaite nur 40 Secunden, die Metallsaite 64 Sec., s. *Gehler*: phys. Wörtb. I. A. Elasticität. S. 697.

Berührung stehenden auf den Schall desselben ausüben. Wir beginnen mit

a) den den schallenden Körper unmittelbar berührenden.

Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden. Jener Körper ist nämlich

aa) entweder der, welcher die Schwingung des schallenden Körpers erregt hat.

Bei ihm kommt als einflussreich in Betracht

α) seine *Qualität.* So gibt z. B. eine Metallsaite einen andern Klang, wenn sie auf eine der gewöhnlichen Weisen, die aber wiederum in dieser Hinsicht von einander abweichen, in Transversalschwingung versetzt wird, als wenn dieses durch Glasstäbe geschieht. Denn das oben S. 29 erwähnte Instrument, an dem diese Erregungsart angewandt wird, hält das Mittel zwischen der Harmonika und den tiefen Blasinstrumenten, vorzüglich dem Waldhorne, womit es im vollen und zarten Tone etwas Ähnliches hat ([1]). Die Ursache dieser Verschiedenheit ist wohl, dass der erregende Körper nach seiner verschiedenen Qualität auch die Schwingungen des erregten Körpers verschieden modificirt, zum Theil aber auch, dass er, wenn er es vermag, schwach mitklingt, und dadurch abermals den Klang des andern etwas verändert, indem beide Klänge in Einen verschmelzen;

β) seine *Quantität,* und zwar

---

1) S. v. *Dalberg*'s S. 29 erwähnten Aufs. Nr. 7. S. 133 f. Die von ihm hier gemachte Vergleichung des Tones seines Instrumentes mit dem des Waldhornes bestätigt *Quandt*: Über die durch Glasstäbe andern Körpern entlockten Töne, in der Leipzig. Allgem. musik. Zeitung II. Jahrg. Febr. 1800. Nr. 19. S. 321: »Der Ton, den man auf diese Art den Saiten entlockt, ist überaus schön und sonor, und hat, zumal in der mittleren Bassgegend, viel Ähnlichkeit mit der des Waldhornes.«

αα) die *Quantität des Körpers* selbst, theils weil es von der Grösse desselben, zugleich jedoch auch von dem Orte seiner Berührung abhängt, wie viele Molecule des andern Körpers zugleich in Schwingung gerathen sollen, theils weil darauf zum Theil auch die Stärke seines Mitklingens beruht. So entsteht z. B. ein anderer Klang, wenn man ein Glas mit einem Hammer, als wenn man es mit einer Gabel berührt;

ββ) die *Quantität seiner Bewegung*, bei der dreierlei in Betracht kommt:

a) ihre *Stärke*. Hiervon hängt theils die räumliche Quantität der Schwingungen des andern und somit zum Theil die Stärke seines Schalles, theils die Stärke des Mitschallens des berührenden Körpers ab.

b) ihre *Schnelligkeit*. Darauf beruht zum Theil die Schnelligkeit der in dem andern erregten Schwingungen. Der Schnelligkeit dieser letztern braucht aber die Schnelligkeit der Bewegungen des die Schwingung erregenden Körpers keineswegs gleich zu sein (2).

c) ihre *Dauer*. Davon hängt einem grossen Theile nach die Dauer der erregten Schwingungen des andern ab, somit auch die Dauer seines Schalles, aber zugleich auch zum Theil die Stärke desselben. Denn z. B. während der Violinbogen fortfährt zu streichen, wächst der Ton der Saite bis zu einem gewissen Punkte an, weil nämlich die mehrfach zurückgeworfenen Wellen derselben immer in die ursprüngliche Lage zurückkehren und daselbst durch neu erregte Wellen verstärkt werden (3).

---

2) *H. u. W. Weber*: Wellenl. S. 538 f. 3) Ebend. S. 538. — Über den grossen Einfluss der Art des Bogenstrichs auf den Klang einer Geige überhaupt, s. *Koch*: mus. Lex. S. 261 f.

Beispielsweise erinnere ich noch an Chladni's Erfahrung ([4]), dass an Scheiben Schwingungsarten, welche tiefere Töne geben, leichter durch einen langsamern und stärkern, die aber höhere Töne geben, leichter durch einen schnellern und schwächern Bogenstrich sich hervorbringen lassen; so wie daran, dass es einen Unterschied im Klange bewirkt, jenachdem man eine Taste langsam anschlägt oder schnell in die Höhe prellt ([5]).

bb) Oder der den schallenden Körper berührende ist *der, an welchen oder in welchem jener schwingt.*

(Der Kürze wegen will ich den letztern B, den schallenden Körper aber A nennen).

Auch hier kommt es an

α) auf die *Qualität* von B. Denn jenachdem er ein fester oder flüssiger, und zwar entweder ein ausdehnbar oder ein tropfbar flüssiger ist, übt er auch einen verschiedenen Einfluss auf den Schall von A aus. Dieser Einfluss ist

αα) theils ein *qualitativer*. Dieser beruht auf zwei Ursachen:

a) auf der *Einwirkung des B auf A*. Denn indem A an B gestossen wird, erhält A von B einen Gegenstoss, der nach der verschiedenen Qualität des B ein verschiedener sein und daher auch die Hervorbringung des Schalles von A modificiren muss. So bringt z. B ein sonst klingender Körper, tief unter die Oberfläche des Wassers getaucht, gar keinen bestimmbaren Klang mehr, sondern bloss ein klapperndes Geräusch hervor ([6]).

b) auf der *Verbreitung des Schalles durch B*. Da diese nur dadurch geschieht, dass B, durch den

---

4) Akust. S. 120. 5) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 458. 6) *Chladni* S. 259.

von A erhaltenen Stoss erregt, selbst schwingt, diese Schwingungen aber von der Qualität seiner Molecule abhängen, so wird auch von dieser Seite der Schall qualitativ verändert (7).

ββ) theils ein *quantitativer*, und zwar

a) ein *räumlicher*. Dieser erstreckt sich

aa) theils auf den *schwingenden Körper A selbst*. Denn von dem Grade der Elasticität des B hängt es ab, ob die Schwingungen des A diejenige räumliche Quantität wirklich erlangen, deren sie der Beschaffenheit von A und der erregenden Kraft zufolge an sich fähig sind, und auf der, wie oben gesagt, zum Theil die Stärke des Schalles beruht.

bb) theils auf die *Verbreitung des Schalles*. Hier ist nicht von der auf der verschiedenen Stärke des Schalles selbst, wie er von A hervorgebracht wird, beruhenden Weite seiner Verbreitung, sondern nur von der die Rede, welche lediglich in der Beschaffenheit der schallleitenden Körper selbst ihren Grund hat. Hier stehen die festen Körper oben an, denn sie verbreiten am weitesten den Schall, insbesondere weiter als die Luft (8). Die Ursache davon ist wohl einem

---

7) *Chladni* S. 260. 262. 296. — *Pellisov*: üb. Schall u. s. w. S. 14.

8) *Chladni* S. 236 f. 262.—64. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 439. — auch *F. Struve*: üb. Taube S. 12. 14. — *Löhr*: die Natur und die Menschen I. S. 225 f. — die im *Morgenblatt* Jahrg. 1835. Nr. 251. S. 1006. aus *Jesse's* Gleanings in natural history III. Sammlung mitgetheilte Anekdote. — *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 332. — *Baumgartner* S. 230. — Hierauf gründet sich auch die gewiss richtige Vermuthung *Chladni's* (N. Beytr. S. 81), dass, wenn nach einer Bemerkung in *Thomson's* Annals of Philosophy, Jan. 1816. S. 3. die lautesten Explosionen des Vulkans auf St. Vincent deutlich in Demerary gehört worden sind, also in einer Entfernung von weit mehr als 300 englischen (75 deutschen) Meilen (das auffallendste Beispiel von beträchtlicher Weite, in welcher man einen Schall gehört hat), und wenn nach *Alex. von Humboldt* die Weite, in welcher man die Explosionen der südamerikanischen Vulkane hört, auch nicht viel geringer ist, in diesen Fällen der Schall

nicht geringen Theile nach in der Gleichartigkeit und gleichen Dichtigkeit ihrer Theile zu suchen. Denn je mehr diese bei dem schallleitenden Medium Statt finden, desto weiter und vollkommner verbreitet es den Schall ([9]). — Auch die verschiedenen Arten der ausdehnbar flüssigen Körper sind in dieser Hinsicht wiederum von einander verschieden ([10]).

b) ein *zeitlicher*. Auch dieser Einfluss ist von zweierlei Art. Denn er erstreckt sich

aa) theils auf den *schwingenden Körper A selbst*, indem B die Schwingungen entweder gar nicht, oder mehr oder weniger hemmt, was im Allgemeinen von dem verschiedenen Grade seiner Elasticität herrührt. So schwingt ein Körper im Wasser langsamer als in der Luft, weil jenes wegen seiner grössern Dichtigkeit mehr Widerstand leistet ([11]). Dieser Einfluss äussert sich beim Schalle durch die *Höhe* und *Tiefe* desselben.

bb) theils auf die *Verbreitung des Schalles*. Feste

---

noch mehr durch die Zitterung der Erde als durch die Luft fortgeleitet werde. Über das Verhältniss tropfbar flüssiger Körper und elastisch flüssiger in dieser Hinsicht hat *Perolle* Untersuchungen angestellt. Er hörte das Picken einer Uhr in der Luft noch bei 8 Fuss, in Weingeist bei 12, in Terpentinöhl bei 14, in Olivenöhl bei 16, im Wasser bei 20 Fuss Entfernung (s. *Baumgartner* S. 246.). 9) Ebendaraus erklärt der eben erwähnte berühmte Forscher *A. v. Humboldt* die bekannte Erfahrung, dass der Schall durch die Luft in der Nacht stärker sich verbreitet als am Tage. Denn dieses könne nicht bloss in dem Mangel des Geräusches liegen, das bei Tage die Ohren übertäube, sondern müsse zugleich in der gleichmässigern Dichtigkeit der Nachtluft gesucht werden, da die Luft am Tage wegen der ungleichen Erwärmung von ungleicher Dichtigkeit sei. Ja im Freien, fern von dem Geräusche volkreicher Städte kann nur in dem Letztern die Ursache gesucht werden z. B. von der Erfahrung, die derselbe in Südamerika machte, wo er in der Ebene um die Mission von Aturès das Getöse des Wasserfalles des Orinoco des Nachts dreimal stärker als am Tage vernahm, obgleich hier das Gesumse der Insecten gerade des Nachts viel stärker ist als am Tage, s. Révue musicale, publiée par M. *Fétis*. VIIme année. Août 1833. Nr. 31. p. 215 sq. *Bertholdt* meint, dass ausser diesem *objectiven* Grunde noch ein *subjectiver* oder *physiologischer* obwalte, dass nämlich während der Nacht, jedoch nur im Zustande des Wachens, die Nententhätigkeit überhaupt gesteigert sei, und alsdann das Ohr, antagonistisch gegen das Auge, in einen höhern Grad von Empfindlichkeit gerathe, s. *Oken's* Isis. Jahrg. 1836. H. IX. S. 677—681. 10) *Chladni* S. 234 f. 11) Ebend. S. 259.

Körper ([12]) und das Wasser ([13]) verbreiten den Schall geschwinder als die Luft. Diese selbst aber verbreitet ihn mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit nach dem höhern oder niedern Grade ihrer Temperatur ([14]), und wiederum die verschiedenen Gasarten anders als die atmosphärische Luft ([15]). Dieser verschiedenen Schnelligkeit der Schallleitung aber ungeachtet gelten doch für alle Medien, in welche Schallwellen übergehen können, gewisse allgemeine Gesetze ([16]).

c) ein *intensiver*. Auch hier haben wir zu betrachten

aa) den Einfluss, den die Qualität von B auf *den von dem schwingenden Körper A hervorgebrachten Schall* selbst zunächst hat, wenn er im Stande ist *mitzutönen* (zu *resoniren*). Dieses ist er aber nur dann, wenn seine Elasticität von der Art ist, dass er mit gleicher Geschwindigkeit zu schwingen vermag, wie der den Ton erzeugende Körper A bei der Hervorbringung desselben es thut ([17]). Zwischen diesem *Mittönen* von

---

12) *Herholdt* in *Reil's* Archiv f. d. Physiol. B. III. H. 2. S. 178. — *Gehler*: phys. Wörth. V. A. Schall S. 812. — *Chladni* S. 261—6. u. N. Beytr. S. 85 f. u. in *Voigt's* Magaz. f. das Neueste aus der Physik St. I. — Vgl. *W. Weber*: A. Chladni, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. XXI. S. 182. u. *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 546. 13) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 546 f., vgl. *Chladni* S. 259. 14) *Chladni* S. 223, besonders aber N. Beytr. S. 74 f. 15) *Gehler*: phys. Wörtb. V. A. Schall. S. 810. — *Chladni* S. 226, N. Beytr. S. 79 f. — Übrigens vgl. über die Geschwindigkeit des Schalles überhaupt *Chladni* S. 220—6, u. N. Beytr. S. 74—78. 16) Diese zuerst von *Chladni*, dann von *H.* u. *W. Weber* aufgestellten Gesetze s. Wellenl. S. 531 f. 17) *Chladni* S. 269—71. Daher kommt es, dass der hohe Ton, den eine Stimmgabel, ausser dem durch Resonanz sehr verstärkbaren und dieser Verstärkung bedürfenden tiefern, hervorbringt, und der vornehmlich im Augenblicke des Anschlagens selbst bis zu einer beträchtlichen Entfernung vernommen werden kann, und auch noch längere Zeit schwach forttönt, durch das Aufstemmen der Stimmgabel auf einen Resonanzboden nicht merklich verstärkt wird (*H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 530), weil das Holz dieses Bodens nicht in gleicher Schnelligkeit zu schwingen vermag. Denn dieser höhere Ton war an der Stimmgabel, deren jene Experimentatoren *H.* u. *W. Weber* sich bedienten, noch beträchtlich höher als der höchste Ton eines Pianofortes. Auch bei den Pianoforte, Geigen und Harfen bemerkt man, wie ebendas. S. 531 hinzugefügt wird, dass die höchsten Töne weit weniger durch die Resonanz verstärkt werden als die tiefern.

B aber und dem *Selbsttönen* von A finden einige wesentliche Unterschiede Statt, welche hier anzugeben jedoch zu weitläufig sein würde, weshalb ich auf das oft erwähnte treffliche Werk der Gebr. H. und W. Weber verweise, wo dieselben genau angegeben sind ([18]). Zugleich erinnere ich an die oben erwähnte Verschiedenheit der *Klang*- und der *Resonanzfiguren*, weil diese als Versichtbarungen der Schwingungsarten natürlich auch die Verschiedenheit dieser letztern darthun.

bb) den Einfluss, den die Qualität von B auf die *Fortleitung des Schalles* hat. Im Allgemeinen verbreiten die festen und die tropfbar flüssigen Körper den Schall stärker als die ausdehnbar flüssigen, weichen aber, wie auch die letztern, wieder unter einander mannichfach ab ([19]). Mit dieser *Stärke* der Schallleitung steht im engsten Zusammenhange die *Weite* derselben ([20]). Denn je stärker die Molecule der gestossenen Stelle von B schwingen, desto mehrern Moleculen theilen sie diese Erschütterung mit, desto weiter erstreckt sich folglich die Wirkung jenes Stosses. — Damit es nun aber nicht scheine, als ob man von gewissen Körpern schlechthin sagen dürfe, sie pflanzten einen jeden Schall in jeder Hinsicht vollkommner oder unvollkommner als andere fort, so machen wir hier noch auf die Wichtigkeit des

---

18) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 516 f. 533 f. 536—39. 19) *Chladni* S. 232—36. 258—64. 266 f. u. N. Beytr. S. 84. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 531. — vgl. *Herholdt* in *Reil's* Archiv f. d. Physiol. B. III. H. 2. S. 178. — *F. Struve*: üb. Taube S. 11. 14. 20) *Chladni* S. 236. vgl. die in der vorigen Anm. bezeichneten Stellen. So vernimmt man z. B. das Marschiren einer Compagnie auf festem Boden bei ruhiger Nacht auf 1400—2000 Fuss, eine Escadron Cavallerie im Schritt auf 1800 F., im Trapp oder Galopp auf 2600 F. Schweres Geschütz hört man im Schritt 1600 F., im Trapp 2400 F. weit fahren (s. *Baumgartner* S. 246.).

Verhältnisses *der Qualität des schallleitenden Körpers zu der Qualität des schallenden* aufmerksam. Nur wenn beide einander gleichartig sind, findet die Fortpflanzung vollkommen Statt, weil dann das leitende Medium den Schall vollkommen mit allen seinen Modificationen aufzunehmen fähig ist. Daher sind für Schälle, die in festen Körpern erregt sind, feste Körper, für die im Wasser hervorgebrachten das Wasser, für die in der Luft erzeugten die Luft die vollkommensten Leiter ([21]), und zwar um so vollkommener, je vollkommener diese Gleichartigkeit bei beiden ist. Sind dagegen der schallende und der schallleitende Körper ungleichartig, so ist zwar die Aufnahme und somit auch die Fortpflanzung des Schalles immer unvollkommen, allein die Grade dieser Unvollkommenheit sind sehr verschieden. Sie hängen von der Qualität und Quantität ihrer Molecule und ihrer Schwingungen ab. Um nicht durch ausführliche Erörterung dieses Gegenstandes zu weitläufig zu werden, begnüge ich mich, hier zwei Bedingungen hervorzuheben, unter denen der Schall eines festen Körpers der Luft minder unvollkommen als sonst mitgetheilt wird. Diese sind folgende:

> *je schneller der feste Körper schwingt, desto leichter theilt er seine Schallschwingungen einem luftförmigen mit.*

Daher werden hohe Töne fester Körper, weil sie die Wirkungen schneller Schwingungen sind, z. B. der vorhin Note 17 erwähnte hohe Ton einer Stimmgabel, stärker durch die Luft ver-

---

21) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 532. — *Treviranus*: Ges. d. org. Leb. B. II. Abth. I. S. 130.

nommen als tiefere (22). Ebendaher scheint es auch zu rühren, dass Töne longitudinal schwingender Körper der Luft leichter mitgetheilt und daher stärker vernommen werden (s. S. 32.), als die transversal schwingender, indem bei jener Schwingungsart sich jedes Theilchen bei jeder einzelnen Schwingung mit einer viel grössern Schnelligkeit bewegt (23). Ferner

eine je grössere Zahl von Lufttheilchen durch den schwingenden festen Körper gestossen wird, desto leichter theilt er seine Schallschwingungen der Luft mit (24).

Daher hört man mittelst der Luft Töne von Platten stärker als die von Streifen, und letztere wiederum stärker als die fadenförmiger Körper (25). Deshalb bedürfen diese letzten der Verstärkung durch *Resonanz* am meisten. Diese Verstärkung wird auf folgende Weise bewirkt. Eine mit einem Resonanzboden verbundene schwingende Saite, eine auf eine grosse Holzplatte gestemmte schwingende Stimmgabel theilen sowohl der Luft als auch diesem festen Körper ihre Schwingungen mit, dem letztern aber vollkommener, weil er als fester Körper ihnen gleichartiger ist als die Luft. Dieser mitklingende feste Körper aber erregt durch seine Schwingungen ebenfalls Schwingungen von gleicher Dauer in der Luft. Diese wird somit von zwei Körpern in Schwingung versetzt, von dem selbsttönenden und von dem mitklingenden, und zwar von dem

22) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 532 f. 23) Ebend. S. 533. 24) Ebend. S. 533.

25) Durch den an sich schwachen Klang dieser letzten, so lange sie nicht mit einem resonirenden Körper verbunden sind, ist *Pellisov* zu der irrigen Behauptung veranlasst, dass die Saite gar nicht als ein *selbsttönender* Körper, sondern nur als ein in dem mit ihr verbundenen Körper *Töne erregender* betrachtet werden müsse. (Berichtig. u. s. w. S. 14.)

letztern (obgleich seine Schwingungen stets schwächer als die des selbsttönenden sind ([26])) um so mehr, weil er bei seiner grössern Fläche ([27]) eine grössere Zahl von Lufttheilchen stösst, und so der Luft die Schwingung des erstern vollkommener mittheilt. Der dadurch verstärkte Ton kann jedoch wegen der Ungleichartigkeit des ihn fortleitenden Medii (der Luft) und des selbsttönenden und des mittönenden Körpers höchstens nur fast die Stärke erhalten, die der fortgepflanzte Ton in einem dem klingenden Körper ganz gleichartigen Medio haben würde ([28]). Die so entstehende Resonanz ist die erste der beiden Arten, in welche die Gebr. H. u. W. Weber die Resonanz eintheilen ([29]), und könnte wegen jener Art der Verstärkung des Klanges die *relative Verstärkung* desselben genannt werden, im Gegensatz der *absoluten*, welche als die zweite jener beiden Arten der Resonanz bald darnach wird erörtert werden. — Aus dem Obigen erhellet, dass besonders faden- und demnächst streifenförmige Körper ihrer geringen Fläche wegen jener Resonanz bedürfen, wenn sie mittelst der Luft stärker vernommen werden sollen, also namentlich Saiten und Stimmgabeln. Es ist jedoch falsch, wenn man, wie sonst geschah, die letztern schlechthin als solche Körper betrachtet, die einen ohne Resonanzboden kaum hörbaren Ton geben, ausser wenn die Gabel nahe an das Ohr gehalten werde ([30]). Denn nach den ge-

---

26) *H. u. W. Weber*: Wellenl. S. 534. 27) Dass nämlich die ganze Fläche des resonirenden Körpers schwingt, und dass nicht, wie Einige irrig meinten, durch jeden Ton nur gewisse Fasern des Resonanzbodens, also nur kleine Streifchen desselben erschüttert werden, haben *Chladni* (S. 270.) u. *H. u. W. Weber* (Wellenl. S. 533.) gezeigt. 28) *H. u. W. Weber*: Wellenl. S. 534. 29) Wellenl. S. 531.
30) *Chladni* S. 269. — *Märtens* in d. N. Berl. Monatsschr. B. XII. 1804. Nov. S. 350.

nauern Untersuchungen der Gebr. H. u. W. Weber gilt dieses nur von dem tiefern Tone der Stimmgabel. Dieser ist schon in einer geringern Entfernung von der in der Hand gehaltenen Stimmgabel nicht mehr durch die Luft wahrnehmbar, wird aber, wenn die Stimmgabel ans Ohr gehalten wird, mit ausnehmender Fülle und Stärke vernommen. Sehr verstärkt und überall im Zimmer hörbar gemacht wird dieser, wenn man den Stiel der Stimmgabel auf eine grosse Holzplatte aufstemmt. Ausser diesem Tone aber bringt die Stimmgabel auch einen viel höhern hervor, der besonders im Augenblicke des Anschlagens selbst bis zu einer beträchtlichen Entfernung vernommen werden kann, der auch noch längere Zeit schwach forttönt, und durch das Aufstemmen der Stimmgabel nicht verstärkt wird ([31]).

Nachdem wir so den Einfluss des qualitativen Verhältnisses des schallenden Körpers und des schallleitenden Mediums auf die Art und Weise der Schallleitung kurz erörtert haben, wird es am passendsten sein, hier zugleich des Einflusses zu gedenken, den, wenn die Schallwellen ([32]) aus dem einen Medium in ein anderes übergehen, die qualitative Verschiedenheit beider auf den Schall ausübt. Nie dringt eine Schallwelle aus jenem in dieses ganz ein, sondern ein Theil davon kehrt in jenes zurück, d. i. wird reflectirt. Die Intensität des reflectirten und des durchgelassenen Theiles hängt von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in beiden Medien ab ([33]).

---

31) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 530. s. oben Note 17. 32) Vgl. über diesen Ausdruck, wofür auch die W. *Schallstrahlen*, *Schalllinien* gebraucht werden und den damit zu verbindenden richtigen Begriff, *Chladni* S. 217 f. 238 f., auch S. 215. 242 f. 249. Anm. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 204 f. — *v. Baer* I. S. 259. u. *Baumgartner* S. 234. machen zwischen jenen Ausdrücken den Unterschied, dass sie die Schwingungen der schallenden Luft *Schallwellen*, die Richtung der Fortpflanzung des Schalles aber *Schallstrahlen* nennen. 33) *Baumgartner* S. 234. 244.

Ausser dem bisher dargelegten Einflusse der *Qualität* von B auf die Vernehmung des Schalles, wobei ausser der Qualität der Molecule auch die Qualität ihrer Form, d. h. die Art und Weise, wie sie zu einem Ganzen verbunden sind, in Betracht kommt, indem z. B. eine und dieselbe Masse, wenn sie die Form eines Stabes oder einer nicht allzu dicken Fläche hat, den Schall weit stärker fortleiten kann, als wenn sie ein unförmlicher Klumpen ist ([34]), bleibt noch zu erwähnen

β) der Einfluss der *Quantität* von B. Auch die Einwirkung dieser auf den Schall theilen wir ein in

αα) eine *qualitative.* So müssen wir z. B. die Einwirkung des Wassers auf einen klingenden Körper z. B. eine Glocke nennen, der, nachdem er bis zu einer gewissen Tiefe unter die Oberfläche des Wassers getaucht ist, gar keinen bestimmbaren Klang mehr, sondern bloss ein klapperndes Geräusch hervorbringt, während er, minder tief eingetaucht, noch klingt, jedoch in tieferem Tone als sonst, wegen seiner langsamern Schwingung ([35]). Qualitativ müssen wir diesen Einfluss der verschiedenen Quantität des die obere Seite der Glocke bedeckenden Wassers deshalb nennen, weil Geräusch und Klang qualitativ verschiedene Arten des Schalles sind (s. unten § 11.).

ββ) eine *quantitative.* Diese ist

𝔄) theils eine *räumliche.* Dahin gehört die Thatsache, dass eine in eine überall gleich weite Röhre eingeschlossene Luftstrecke, indem sie dadurch gehindert wird, sich seitwärts weiter auszubreiten, den Schall

---

34) *Chladni* S. 267 f. Die Ursache davon liegt darin, weil jene Gestalten leichter als diese mancherlei Arten der schwingenden Bewegung annehmen können. 35) Ebend. S. 259.

bis zu einer bedeutenden *Weite* ungeschwächt fortleitet ([36]),

𝔅) theils eine *zeitliche*

𝔞) von Seiten der *Schnelligkeit der Schwingung.* Hier ist auf den schon kurz zuvor erwähnten Fall nochmals hinzuweisen, sofern eine in das Wasser getauchte Glocke, ehe sie bis zu jener Tiefe kommt, wo man nur ein klapperndes Geräusch vernimmt, noch einen Klang gibt, aber in einem immer tiefer werdenden Tone, weil sie, je tiefer sie gesenkt wird, je grösser mithin die ihre obere Seite bedeckende Wassermasse wird, desto langsamer schwingt ([37]).

𝔟) von Seiten der *Dauer des vernommenen Schalles*, s. hierüber unter dem folg. ℭ. 𝔟. 𝔞𝔞. S. 53 f.

ℭ) theils und besonders eine *intensive.* Der diesen Einfluss durch seine Quantität ausübende Körper ist

𝔞) entweder ein *fester.* Hieher gehört z. B. die Thatsache, dass die Stärke der Wände einer Flöte einen so bedeutenden Einfluss auf die Fülle des Tones hat. Denn sind diese nur um die Dicke eines Messerrückens über das einmal als das beste ausgemittelte Maass verstärkt, so wird der Klang dumpf; sind sie dagegen um dieselbe Dicke eines Messerrückens unter jenes Maass verdünnt, so wird derselbe unerträglich schreiend. Dasselbe hat die Erfahrung bei Orgelpfeifen, Trompeten u. s. w. gezeigt ([38]). Auch weiss

---

36) Vgl. *Baumgartner* S. 244 f. Man nennt eine solche Röhre ein *Communicationsrohr* (s. ebend. S. 247.). Auch in andern einem solchen Rohre ähnlichen Räumen findet jenes Statt. So hörte *Kircher* in einer alten römischen Wasserleitung einen Schall 600 Fuss weit mit gleicher Stärke. Die Wasserleitung des Claudius soll einen Schall mehrere italienische Meilen weit verbreiten (*Chladni* S. 237.). 37) Ebend. S. 259. 38) *Pellisov*: Berichtig. u. s. w. S. 19 f. Dieser allerdings grosse Einfluss der Stärke der Seitenwände

man, dass ein Resonanzboden nur dann die Töne gehörig verstärkt, wenn er hinlänglich gross und nicht allzu dick ist ([39]), so dass mithin auch die Quantität Einfluss hat.

b) oder ein *ausdehnbar flüssiger Körper*, namentlich die *atmosphärische Luft*. Bei dieser kommt ihre Quantität deshalb sehr in Betracht, weil, wenn dieselbe nicht eine unendliche, sondern eine begränzte ist, der Schall bedeutend verstärkt werden kann,

aa) einmal *dadurch, dass die fortschreitenden Schallwellen an einem in dieser Richtung ihnen entgegenstehenden, ihr Fortschreiten hemmenden Körper* ([40]) *gebrochen und zurück-*

---

veranlasst ihn zu der Behauptung (S. 18), dass die schwingende Luftsäule in den Blasinstrumenten nicht *selbst töne*, sondern die solide Masse des Instruments bringe den Ton hervor, indem ihre Molecularschwingung durch die schwingende Luftsäule erregt werde. Die gewöhnliche, namentlich durch *Chladni* (S. 83 ff.) u. *H.* u. *W. Weber* (Wellenl. S. 258. 516 ff., u. *W. Weber*: A. Chladni, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. XXI. S. 181, u. Akust. S. 22. Anm.) vertheidigte Ansicht ist, dass nur die Luftsäule hier selbst töne. Dass aber *Chladni* (S. 83.) sowohl der Qualität als der Quantität der soliden Masse des Instruments gar zu wenig Einfluss zugesteht, darf uns hier am wenigsten kümmern, da er (N. Beytr. S. 67.) gesteht, über Blasinstrumente nicht selbst Untersuchungen angestellt zu haben. Es möchten daher wohl die Ansichten jener vier Akustiker dahin zu vereinigen sein, dass man zwar die Luftsäule in jenen Instrumenten als *selbst tönend* betrachtet, weil ihre Schwingungen die *Höhe des Tones* bestimmen, wie die von *Chladni* S. 226—30. mitgetheilten Versuche ausser Zweifel gesetzt haben; dass aber von der Qualität und Quantität der Seitenwände die Qualität und die *Stärke des Tones* abhangen, sofern auf diesen die Art des *Mittönens* der soliden Masse beruhe. Denn dass ausser der kurz zuvor hervorgehobenen Quantität auch die Qualität derselben einflussreich sei, zeigt z. B. die von *Pellisov* (Berichtig. u. s. w. S. 18 f.) mitgetheilte Bemerkung, dass eine Flöte von Kokosholz stärker töne als jede andere von gleicher Quantität. 39) *Chladni* S. 269. 40) Dieser hemmende begrenzende Körper braucht nicht immer ein fester Körper zu sein; auch tropfbar und ausdehnbar flüssige bewirken dieses, z. B. Wolken, warme Luft. Davon überzeugte man sich, wie *Baumgartner* S. 235. sagt, besonders bei den Schallversuchen in Frankreich, wo man wahrnahm, dass der Knall einer Kanone bei heiterem Himmel ganz einfach gehört werde, während er bei einer nur mässigen Bewölkung an demselben Orte wie das Rollen des Donners erschien. — Auch *Chladni* erwähnt S. 213, dass eine blosse Luftschicht eine Zurückwerfung der Schallwellen bewirken könne. Dasselbe beweist auch *W. Brandes* in s. Bemerkung über d. Echo, in *J. H. Voigt's* Magazin f. d. neuesten Zustand der Naturkunde. Bd. V. S. 65 durch die an stillen Sommerabenden oft gemachte Erfahrung, dass man am Seeufer nach der Seeseite hin ein Echo hören könne, dass namentlich das Gebell eines Hundes sich äusserst deutlich wiederhole.

geworfen werden. Diese Brechung und Zurückwerfung hat aber ausser der zunächst hieher gehörenden *intensiven* Wirkung, der *Verstärkung des Schalles,* noch zwei andere: eine *zeitliche,* die *Verlängerung des Schalles,* den *Nachhall,* und eine *mehrheitliche,* wie man sie nennen könnte, die *Wiederholung des Schalles, den Wiederhall oder das Echo.* Welche von diesen drei Wirkungen Jemand vernehmen soll, hängt von der Weite des Raumes ab, welchen die Schallwellen zu durchlaufen haben, ehe sie gebrochen und zurückgeworfen werden, und von dem Standpunkte des Hörenden (41). Ist die Länge des Raumes von dem schallenden Körper bis zu dem, wo die Schallwellen sich brechen und zurückgeworfen werden, nur so gross, dass während der Zurückwerfung derselben der schallende Körper noch zu schwingen fortfährt, und zwar nach derselben Richtung, den die vorangegangenen Schallwellen nahmen, (was nothwendig ist, wenn sich nichts am Körper oder in der Erregungsart der Wellen ändert,) und rühren sie von Schwingungen eines und desselben Tones her, so begegnen sich diese neuen und jene zurückgeworfenen, indem sie, falls sie nicht durch den Körper, an welchem sie sich brechen, eine andere Richtung erhalten haben, sondern so viel als möglich geradlinig geblieben sind, den schon einmal durchlaufenen Raum wieder rückwärts durchlaufen. Auf diesem Wege durchkreuzen sie sich mit den neuen Schallwellen, und bewirken dadurch, dass an den Kreuzungspunkten die Verdichtung und Verdünnung der Lufttheilchen, jenachdem z. B. 2 oder 4

41) Den Einfluss dieses Standpunktes ersieht man aus *Chladni* S. 241—49.

longitudinale Luftwellen sich durchkreuzen, 2 oder 4 Mal so gross wird als sonst. Die Bewegung der an diesen Punkten befindlichen Lufttheilchen ist dabei so stark, dass sie der des schallenden Körpers nur wenig nachsteht. Natürlich wächst auch die Einwirkung auf das Gehör in demselben Maasse, und sie ist um so stärker, je weniger die Schallwellen beim Anprallen an den sie brechenden Körper in viele kleine sich zerspalten, je grösser demnach die sich durchkreuzenden Wellen sind ([42]). Die durch diese Durchkreuzung der Schallwellen bewirkte Verstärkung des Schalles ist die zweite der beiden Arten, worein die Gebr. H. u. W. Weber ([43]) die Resonanz, wie schon oben gesagt, eintheilen. Beide unterscheiden sich dadurch wesentlich von einander, dass die erstere, welche wir oben erläuterten, nur eine vollkommenere Mittheilung der Schwingungen von einem tönenden Körper an ein Medium von einem verschiedenen Cohäsionszustande und von einer verschiedenen Dichtigkeit ist; die hier erörterte zweite Art dagegen den Schall über den Grad der Stärke hinaus, den er in einem unbegrenzten Medio bei der vollkommensten Mittheilung haben könnte, verstärkt. Daher könnte man diese zweite Art der Resonanz füglich die *absolute Verstärkung*, die erste dagegen die *relative* nennen. Aus dem eben Gesagten ergibt sich zugleich, welche Körper der zweiten Art von Resonanz fähig sind, oder, mit anderen Worten, welche Schälle auf die letztgenannte Weise verstärkt werden können. Vor allen solche, welche dem hier bespro-

42) *H. u. W. Weber*: Wellenl. S. 535—37. 43) Ebend. S. 531.

chenen schallleitenden Medio, der Luft, gleichartig sind, und deshalb ihre Schwingungen ihm schon an sich vollkommen mittheilen, also alle Schälle, die durch selbsttönende Luft hervorgebracht werden, mithin namentlich die Töne der Stimme lebendiger Wesen, die der Orgelpfeifen und aller andern Arten von Blasinstrumenten. Man hat daher wegen der Wichtigkeit einer solchen Verstärkung Untersuchungen angestellt, wie ein zum Hören bestimmtes Gebäude, z. B. ein Musiksaal, ein Schauspielhaus oder ein Versammlungsort, wo man einen Redner hören will, eingerichtet werden müsse, um dergleichen zu bewirken ([44]). — Aber nicht bloss durch die Luft erzeugte Schälle sind dieser Art der Resonanz fähig, sondern auch solche, welche von festen Körpern hervorgebracht sind. Denn eine angeschlagene Stimmgabel, die man der Öffnung einer am andern Ende verschlossenen Röhre nähert, ohne diese zu berühren, bewirkt bei einem gewissen Grade der Schnelligkeit ihrer Schwingung, dass die in der Röhre eingeschlossene Luft auf jene Weise resonirt ([45]), und dadurch den Ton weit stärker vernehmbar macht, weil sie ihre starken Schwingungen der gleichartigen schallleitenden Luft vollkommen mittheilt. Hierbei sind aber drei Fälle genau zu scheiden, welche Andere, z. B. Gehler ([46]), sämmtlich unter dem Namen *Resonanz* begreifen. Ein tönender Körper kann nämlich bewirken, dass ein anderer denselben Ton, und zwar entweder in fast gleicher Stärke oder schwächer, oder auch, dass

---

44) *Chladni* S. 249—56. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 543—45. 45) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 516—18. 543. 46) Phys. Wörtb. III. A. Resonanz S. 711.

er einen andern mit jenem harmonischen Ton hervorbringt. Von diesen Fällen betrachten die Gebr. H. u. W. Weber nur den als Resonanz, wo der nämliche, aber schwächere Ton erscheint; die beiden andern betrachten sie als ein Selbsttönen, weil dann eine stehende Schwingung in dem andern Körper erregt sei, z. B. wenn, wie Savart bemerkt hat, cylindrische Gefässe mit verschlossenem Boden, gedeckte Orgelpfeifen durch Vorhalten von tönenden Glasscheiben, Glokken u. s. w. dahin gebracht werden, je nach dem Verhältniss ihrer Weite und Länge entweder denselben Ton mit fast gleicher Stärke, oder einen der nächsten harmonischen Töne hervorzubringen (47).

Ist die Länge des Raumes von dem schallenden Körper bis zu dem, wo die Schallwellen sich brechen und zurückgeworfen werden, so gross, dass der schallende Körper bereits zu schwingen aufgehört hat und die Schallempfindung so eben geendet, wenn die Wirkung jener Zurückwerfung der Schallwellen das Ohr trifft, so dass sich die Empfindung der letztern unmittelbar an die erstere anschliesst, so entsteht keine *intensive Verstärkung des Schalles*, sondern eine *zeitliche, eine Verlängerung der Dauer der Schallempfindung* durch die ihr ohne bemerkbare Unterbrechung (48) folgende Empfin-

47) Wellenl. S. 516—19. 542.

48) Mit Bedacht ist gesagt: »ohne *bemerkbare* Unterbrechung«; denn gar wohl kann eine solche wirklich Statt finden, ohne aber dem Ohre bemerkbar zu sein. Die Ursache hiervon liegt in der Weise, wie die Fortpflanzung der Sinneseindrücke zum Sensorium geschieht. *Treviranus* (Ges. d. org. Leb. Bd. II. Abth. I. S. 52.) sagt darüber: »Jeder Sinn wirkt mit der Schnelligkeit des Lichts. Am schnellsten gelangen die Gesicht- und Gehöreindrücke von den äussern Enden der Seh- und Hörnerven zum Sensorium. Die Fortpflanzung derselben ist jedoch, wie jeder physische Vorgang, an eine gewisse Zeit gebunden. Daher fliessen, wenn mehrere Eindrücke schneller auf einander folgen, als diese Zeit beträgt, alle zu einem einzigen zusammen

dung des durch die zurückgeworfenen Wellen bewirkten zweiten Schalles, der, weil er schwächer ist als der ursprüngliche, mit Recht durch das im Anlaute schwächere *Hall* bezeichnet, und weil er dem ersten unmittelbar folgt, *Nachhall* genannt wird ([49]).

Ist die Entfernung des die Schallwellen reflectirenden Körpers minder gross, so dass die Empfindung des Halles noch mit einem Theile der Dauer der eigentlichen Schallempfindung zusammenfällt, aber doch auch wegen ihres etwas spätern Eintretens noch über die letztere Empfindung hinaus währt, so vereinigen sich beiderlei Verstärkungen des Schalles, die *intensive* und die *zeitliche* (der *Nachhall*) mit einander ([50]).

Hat aber die Länge des Raumes von dem schallenden Körper bis zu dem, wo die Schallwellen sich brechen und zurückgeworfen werden, und von diesem wiederum bis zum Standpunkte des Hörenden, die Grösse, dass die Empfindung des Halles sich nicht unmittelbar an die des ursprünglichen Schalles anschliesst, sondern eine Unterbrechung, sei sie auch noch so klein, vom Ohre bemerkt wird, so ist die Wirkung jener Zurückwerfung der Schallwellen eine *mehrheitliche Verstärkung*, indem so wenigstens zwei Schälle deutlich vernommen werden, nämlich der ursprüngliche Schall und dessen schwächere Wiederholung, der Hall, der in diesem Falle *Wiederhall* oder *Echo* heisst ([51]). Da die

---

und es lässt sich hiernach die Dauer, unter welcher jeder einzelne nicht mehr als einzelner empfunden wird, einigermassen bestimmen.« Er beweist dieses S. 53. durch mehrere Experimente. Vgl. § 5. Note 2.

49) *Gehler*: phys. Wörtb. I. A. Echo. S. 664. — *Chladni* S. 242. 247. 253. 255. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 543. 545 f. — *Chladni* nennt auch den Nachhall: *Resonanz.*

50) *Baumgartner* S. 235.

51) *Gehler* a. a. O. I. A. Echo S. 662—66. — *Chladni* S. 242—48. — *Koch*: mus. Lex. S. 512 f.

Schallwellen mehrfach sich brechen und zurückgeworfen werden können, so kann auch mehr als Ein Hall entstehen. Tritt dieser Fall unter den beim Nachhall angegebenen Umständen ein, und zwar so, dass das Ohr diese verschiedenen Halle nicht nur nicht vom Schalle, sondern auch nicht von einander der Zeit nach zu unterscheiden vermag, so ist die Folge dieser mehrfachen Brechung ein *längerer Nachhall* ([52]). Findet aber diese mehrfache Brechung auf die beim Wiederhall bezeichnete Weise Statt und zwar so, dass das Ohr nicht nur die Halle vom Schalle, sondern auch die verschiedenen Halle von einander der Zeit nach unterscheidet, so vernimmt es dieselben wie *mehrere Wiederhalle* ([53]).

bb) ferner *dadurch, dass die fortschreitenden Schallwellen an den ihnen gesetzten Schranken gebrochen und eine mehr oder minder grosse Anzahl nicht in gerader oder schiefer Richtung nach der Seite des sie erregenden Körpers zurück, sondern nach der diesem Körper entgegengesetzten Seite hin so geworfen wird, dass sie in einen kleinen Raum oder Punkt zusammengedrängt wird.*

Dieser nennt das Echo minder passend *Wiederschall*, so auch *Adelung* unt. dem W. Schall. Welche Weite der Entfernung zur Erzeugung eines solchen erfordert werde, lehren folgende Worte v. *Baer's* I. S. 276 f.: »Man hat beobachtet, dass ein gesundes Ohr etwa 10 Laute in einer Secunde als gesondert unterscheiden kann, und folgert daraus, dass $\frac{1}{10}$ Secunde hinreiche, um einen Schall zu empfinden. Hierauf beruht die Möglichkeit eines Echo's. Wenn nämlich eine zurückwerfende Fläche so weit ist, dass der Schall hin und zurück wenigstens $\frac{1}{10}$ Secunde braucht, so können wir den Wiederhall vom Schalle selbst unterscheiden. Es pflanzt sich aber ein Schall in einer Secunde etwa 1050 Fuss weit fort (etwas mehr oder weniger nach der Wärme und übrigen Beschaffenheit der Atmosphäre). In einem Zehntheil einer Secunde geht er also 105 Fuss. Die wiederhallende Fläche muss mithin über 50 Fuss entfernt sein. Ist sie näher, so hören wir kein Echo, weil der Wiederhall unser Ohr trifft, ehe die Empfindung des Schalles vorüber ist. Er verstärkt nur den Schall und verwirrt ihn, wie in grossen Sälen.«

52) *Gehler* a. a. O. I. S. 664. — *Chladni* S. 253.

53) *Gehler* a. a. O. I. S. 664—66. — *Chladni* S. 218 f. u. N. Beytr. S. 82 f. — *Koch* a. a. O. S. 513. — *Baumgartner* S. 236.

Die so von allen oder wenigstens von zwei einander entgegengesetzten Seiten zusammengeworfenen Schallwellen durchkreuzen sich und bewirken dadurch, dass die Verdichtung und Verdünnung der in den Kreuzungspunkten befindlichen Lufttheilchen nach Verhältniss der Zahl der in diesen Punkten sich durchkreuzenden Wellen gesteigert und so die Schallempfindung bei dem in dem Durchkreuzungspunkte befindlichen Subjecte bedeutend verstärkt wird. Dieses findet Statt bei dem *Hörrohre* ([54]) und solchen Räumen, die im Baue jenem ähnlich sind ([55]), oder eine elliptische Gestalt haben, weil eine Ellipse die Eigenschaft hat, die aus einem Brennpunkte nach allen Richtungen ausgehenden Strahlen in dem andern Brennpunkte zu vereinigen, so dass der Hörende, wenn er in dem einen steht, einen in dem andern Brennpunkte erregten, wenn auch an sich schwachen Schall stark und deutlich vernimmt ([56]).

cc) endlich *dadurch, dass die Schallwellen an den Seiten so gebrochen werden, dass sie mit einer von ihrem Erregungspunkte nach der gegenüberstehenden Seite gedachten geraden Linie parallel nur geradeaus vorwärts fortschreiten, ohne zugleich seitwärts sich zu verbreiten.*

Hierdurch wird zweierlei bewirkt: Verstärkung des Schalles durch die Brechung der Wel-

---

54) *Chladni* S. 210 f. 55) Einige Beispiele der Art theilt *Chladni* S. 241 f. mit, von denen ich hier nur zwei erwähne: das sogenannte Ohr des Dionysius in den Steinbrüchen zu Syracus, welches seinen Namen der Sage verdankt, dass jener Tyrann es dazu eingerichtet habe, um alle Reden der unten befindlichen Gefangenen in einem Zimmer über demselben zu hören; und die Cathedralkirche zu Girgenti in Sicilien, in welcher man, wenn an der Thür, die aber nicht offen sein darf, leise gesprochen oder sonst ein schwacher Schall erregt wird, solchen sehr deutlich und verstärkt am andern Ende hört, obgleich man ihn ausserdem kaum zehn Schritte weit vernimmt. 56) Ebend. S. 242. vgl. S. 253. — *Baumgartner* S. 235.

len, und unverschwächte Fortleitung desselben durch Verhinderung der allseitigen Verbreitung der Schallwellen ([57]). Das hier Erwähnte findet Statt beim kegelförmig gebildeten *Sprachrohre* ([58]) und bei ihm ähnlich gebauten Räumen ([59]). Übrigens darf man gewiss auch bei dem Sprachrohre sowohl als bei dem Hörrohre der soliden Masse desselben eine Verstärkung des Schalles durch Mitklingen zuschreiben.

Ausser der *Qualität* und *Quantität* des schallleitenden Körpers, wovon bis jetzt die Rede war, kommt, wenigstens bei gewissen Körpern, noch in Betracht

γ) die *Richtung*, in welcher der schallende Körper mit dem schallleitenden verbunden ist. So hängt z. B. bei den schwingenden Stimmgabeln die Stärke, mit der sich ihre Schwingungen einem andern flächenförmigen Körper mittheilen, zum Theil davon ab, ob sie mit der Längenaxe dieser Platte einen rechten Winkel, oder ob sie eine gerade Linie mit ihr bilden. Im letztern Falle ist die Mittheilung der Schallschwingungen am stärksten ([60]).

§ 9.

3. *Einfluss der die schallenden Körper mittelbar berührenden Körper auf den Schall.*

Von dem bisher besprochenen Einflusse der den schallenden Körper unmittelbar berührenden Körper auf den Schall, gehen wir über zu einer kurzen Erörterung desjenigen, welchen

---

57) Vgl. die obigen Bemerkungen über die Wirkung cylindrischer Röhren bei Verbreitung des Schalles S. 47 f. 58) *Chladni* S. 237—39. Die Form eines abgekürzten Kegels ist, wie *Lambert* in seiner Abhandlung sur quelques instrumens acoustiques, in den Mémoires de l'Acad. de Berlin 1763, gezeigt hat, die vortheilhafteste, indem durch sie der genannte Zweck am besten erreicht wird. 59) *Chladni* S. 254. 60) Erklärungen dieser Erscheinung s. in *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 552 f. u. *Pellisov*: Berichtig. u. s. w. S. 16.

b) die mit dem schallenden Körper nur mittelbar in Berührung stehenden

auf den Schall haben. Der Kürze wegen heisse, wie oben, der schallende Körper A, der ihn unmittelbar berührende B, der hier noch hinzukommende mittelbar ihn berührende C. Auch hier kommt es auf Qualität und Quantität der Körper selbst sowohl als ihrer Bewegung an, wie aus den folgenden Beispielen, die hier zum Belege hinreichen mögen, erhellen wird. Wir unterscheiden hier folgende Fälle:

aa) B und C sind feste Körper. Hier sowohl wie bei dem Folgenden gilt die durch Erfahrung gefundene Regel, dass ein durch feste Körper oder durch die Luft verbreiteter Schall alle Körper in Bewegung setzt, welche in denselben Zeiträumen schwingen können ([1]). Hierauf beruht es, dass eine mit einem Resonanzboden nicht unmittelbar, sondern durch einen eisernen Stift verbundene Saite dem Boden ihre Schwingungen mittheilt und so die schon oben erläuterte Verstärkung durch Resonanz bewirkt; ferner dass, wenn an einem Instrumente, oder auch an verschiedenen, die durch einen Zusammenhang von festen Körpern auf einander wirken können, (aber auch, wenn diese gegenseitige Einwirkung bloss durch die Luft vermittelt wird,) zwei Saiten in Einklang gestimmt sind, die Schwingung der einen auch die Schwingung der andern in dem Grade bewirkt, dass nicht ein blosses Mittönen, sondern ein Selbsttönen entsteht ([2]). Dieses kann bei der letztern auch erfolgen, wenn sie ihrer Stimmung zufolge einen andern Ton gibt ([3]).

Ein blosses Mittönen aber bewirkt eine Saite an

---

1) *Chladni* S. 51, 270. 2) *Chladni* betrachtet dieses S. 270 als ein blosses Mittönen, vgl. dagegen *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 542, s. auch *Treviranus*: Ges. d. org. Leb. Bd. II. Abth, I. S. 132. vgl. 131. 3) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 542. *Chladni* nennt auch dieses S. 271. ein *Mitklingen.*

einer andern an Qualität und Dicke ihr gleichenden, deren aliquoter Theil sie ist, d. h. welche zwei, drei, vier u. s. w. Mal so lang ist, indem sie veranlasst, dass diese in ihr entsprechende aliquote Theile sich mitschwingend eintheilt und so denselben Ton leise hervorbringt ([4]). Doch nicht bloss Eine, sondern mehrere Saiten, die sämmtlich tiefere Töne geben, kann eine schwingende höher tönende Saite in Schwingung versetzen und ein Anklingen desselben Tones an ihnen bewirken, wenn dieser Ton dem Tone eines aliquoten Theiles der tiefern Saiten entspricht, oder, was auf dasselbe hinausläuft, wenn die Grundtöne der tiefern Saiten mit dem der höhern Saite zu einerlei harmonischer Reihe gehören (vgl. S. 24 f.). So setzt z. B. eine schwingende den Ton $\bar{c}$ gebende Saite die des um eine Octave tiefern c, die des um eine Octave und Quinte tiefern F, die des um zwei Octaven tiefern C, zuweilen, doch selten, die des um zwei Octaven und eine grosse Terz tiefern As, und mit Geläufigkeit die des um zwei Octaven und eine Quinte tiefern F mit in Schwingung, weil die Saite des $\bar{c}$ von allen diesen Saiten ein aliquoter Theil ist, nämlich von der Saite des c $\frac{1}{2}$, von der des F $\frac{1}{3}$, von der des C $\frac{1}{4}$, von der des As $\frac{1}{5}$, von der des tiefsten F $\frac{1}{6}$ (vgl. § 25.). Mit Recht nennt Fischer ([5]) diese Reihe die *harmonische Unterreihe*, weil sie genau dieselbe Reihe, wie die Seite 24. angegebene, welche er als ihren Gegensatz *harmonische Oberreihe* nennt, nur nach entgegengesetzter Richtung hin darstellt. — Aber nicht bloss beim Erklingen Eines höhern Tones erfolgt ein solches Anklingen desselben Tones auf Saiten tieferer, aber zu derselben harmonischen Reihe gehöriger Töne, sondern auch wenn

4) *Baumgartner* S. 255. 5) Üb. d. akust. Verh. d. A. S. 8.

zwei höhere Töne der harmonischen Oberreihe zusammen ertönen, vernimmt man an den durch sie in Schwingung versetzten Saiten tieferer Töne das Anklingen beider. Von den letztern schwingen aber in einem solchen Falle diejenigen am lebhaftesten, welche mit beiden höhern Tönen zugleich in Verbindung stehen, z. B. beim Erklingen von $\bar{e}$ $\bar{g}$ die Saite des C, auch die des c (als zweite Unterquinte des $\bar{g}$). Dieses Anklingen erfolgt auch da, wo der höhere Ton nicht ganz genau dem Tone der aliquoten Theile der den tiefern Tönen angehörenden Saiten entspricht, woraus **Fischer** Seite 8, wo er diese Thatsachen mittheilt, richtig folgert, dass aliquote Theile einer Saite auch dann anschwingen, wenn der ihnen zugehörige Ton nur in gewisser Annäherung angegeben wird (vgl. auch ebendaselbst Seite 9.).

Umgekehrt kann aber auch eine schwingende längere Saite, die deshalb einen tiefern Ton gibt, kürzere Saiten, die gewisse höhere Töne hervorbringen, in Schwingung versetzen und ein Anklingen ihrer Töne bewirken. Dieses ist mit **Fischer** Seite 6 ff. auf folgende Weise zu erklären. Wenn eine transversal schwingende Saite ihren Grundton gibt, so schwingt sie, wie Seite 25 f. gezeigt worden, zugleich in aliquoten Theilen, und erzeugt mittelst der letztern Theilschwingungen die Töne der sogenannten harmonischen Reihe, z. B. wenn ihr Grundton C ist, die harmonische Reihe c g $\bar{c}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$ $\bar{b}$ $\bar{\bar{d}}$ u. s. w. Durch die diese Töne hervorbringenden Theilschwingungen der Saite werden alle diejenigen Saiten mit in Schwingung versetzt, und zum leisen Mitklingen veranlasst, welche einen dieser Töne, ihrer Stimmung zufolge, als ihren Grundton hervorbringen. Erste Bedingung dabei ist, dass ihrer freien Schwingung kein Hinderniss entgegenstehe; eine zweite, dass die Stimmung

der Saite, welche auf diese Weise mitschwingen soll, nicht zu sehr von der Reinheit abweiche. Dieses beweist die kleine Septime $\overline{b}$, wenn sie nach der zwölfstufigen gleichschwebenden Temperatur (s. § 33.) gestimmt ist, indem sie sehr schwer durch die schwingende Grundtonsaite zum Anklingen gebracht wird, deshalb nämlich, weil ihr Ton von dem reinen harmonischen Tone, der mit dem Grundtone mitklingt, zu sehr abweicht ([6]). Eine geringe, ja selbst etwas grössere Abweichung von der Reinheit aber hindert den Erfolg nicht, obgleich der Ton der Saite dann keineswegs genau dem Tone des aliquoten Theiles der tiefern Saite, durch den sie in Schwingung versetzt wird, gleich ist, sondern sich ihm nur nähert ([7]).

bb) B ist ein fester, C ein elastisch flüssiger Körper. Hier erwähnen wir nur den Fall, dass auch die in einem Resonanzboden eingeschlossene Luft, der die Schwingung durch jenen Boden mitgetheilt wird, auf die oben angegebene Weise resoniren, und dadurch den Klang bedeutend verstärken kann, weil sie, wenn sie resonirt, anderer Luft denselben weit vollkommener mittheilt als feste Körper, weshalb die Gestalt des in dem Resonanzboden eingeschlossenen Luftraumes und die Lage der Öffnungen desselben nach aussen für die Resonanz von grosser Wichtigkeit sind ([8]).

cc) B ist ein elastisch flüssiger, C ein fester Körper. Dahin gehört namentlich die Thatsache, dass ein durch schwingende Luft erzeugter und durch die Luft fortgeleiteter Schall feste Körper, auf welche die Schallwellen stossen, falls sie in denselben Zeiträumen mitzuschwingen vermögen, zum Mitschallen veranlasst. Deshalb brachten die Alten in einigen Theatern, in

6) Ebend. S. 7. 9 f. 7) Ebend. S. 7. 9. 8) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 546.

Vertiefungen zwischen den Sitzen der Zuschauer dünne, in verschiedene Töne gestimmte metallene Gefässe an, die, auf schmale keilförmige Unterlagen gestützt, schief nach unten gekehrt waren, in der Absicht, dass jeder Laut, welchen der Schauspieler spräche, wenigstens eines oder zwei Gefässe träfe, welche durch die Schwingung der Luft mit in Schwingung versetzt würden und so durch Mitklingen den Schall vermehrten ([9]).

dd) Endlich können auch dem C, dieser mag ein fester oder ein flüssiger Körper sein, die Schwingungen des schallenden Körpers auf mehr als Einem Wege zugleich, nämlich sowohl durch feste als auch durch flüssige Körper mitgetheilt werden. So geht, wenn z. B. durch die starken Bässe einer Orgel nicht nur der Pfeifenkörper, sondern die ganze Umgebung stark erschüttert wird ([10]), diese Erschütterung nicht bloss von der schwingenden Luft, sondern zugleich und mehr noch von den die Pfeifen unmittelbar berührenden festen Körpern aus. Die Folge von allem diesen ist ein Mitschallen jener Körper C, somit eine Verstärkung des Schalles von A.

Zum Schlusse dieser Betrachtung des Einflusses der den schallenden Körper umgebenden Gegenstände auf seinen Schall mache ich noch beispielsweise auf die bekannte Er-

---

9) *Chladni* S. 252. vgl. *H.* u. *W. Weber* a. a. O. S. 511. Hieher oder auch zu der obigen Stelle, wo wir die Erregung des Selbsttönens durch einen gleichfalls selbsttönenden Körper erwähnten, würde auch der Bericht gehören, dass gläserne Gefässe, besonders solche, die etwas dünn und convex waren (wie die Weingläser) durch heftiges u. anhaltendes Hineinschreien eines Tones, wenn dieser genau derjenige, den das Glas geben konnte, oder dessen Octave war, nach einem vorhergegangenen starken Klirren zersprengt worden seien, ja selbst schon, wenn dieser Ton auf einer Violinsaite stark angegeben worden. Allein die Wirklichkeit dieser allerdings von Mehrern beobachteten Thatsache ist noch nicht ausser allen Zweifel gesetzt, s. *Chladni* S. 271 f. Man vergl. das Zersprengen von Fensterscheiben durch Kanonendonner, wobei jedoch der Unterschied obwaltet, dass hierbei die Erschütterung mehr noch durch feste Körper als durch die Luft mitgetheilt sein kann. 10) Vgl. *Pellisov*: Berichtig. u. s. w. S. 20 f.

fahrung aufmerksam, dass bei lockerem Schnee selbst ein sonst starker Schall eines Körpers schon nach einer geringen Entfernung nicht mehr vernommen wird, weil der Boden durch die Weichheit des Schnees seine Resonanz-Fähigkeit völlig oder grösstentheils verloren hat ([11]). Auf hart gefrornem Schnee dagegen, so wie auf Eise schallt Alles, wegen der erhöhten Resonanz-Fähigkeit des Bodens, weit lauter ([12]).

§ 10.

Schall, Hall, Gall.

In dem Bisherigen versuchten wir die verschiedenen Arten des Schalles nach ihren verschiedenen Ursachen und Bedingungen im Allgemeinen darzulegen, und dadurch das Verständniss der Unterscheidung derjenigen Arten, die wir jetzt ihren Namen nach aufführen und betrachten wollen, vorzubereiten.

Da wir hierbei vom *Schalle* als der allgemeinen Bezeichnung alles Hörbaren ausgehen, so drängen sich uns zunächst *Hall* und *Gall* zur Unterscheidung von jenem auf, weil sie von ihm nur im Anlaute abweichen. Die Verwandtschaft der Laute *g*, *sch*, *h*, so wie ihren Übergang in einander werden wir an einem andern Orte zeigen; hier haben wir nur zu beachten, wie sie sich von Seiten der Intensität zu einander verhalten. *G* ist der stärkste, *h* der schwächste,

---

11) Ein interessantes Beispiel der Art ist folgendes von *Herschel* in s. treatise on sounds (s. Quaterly Review Febr. 1831. Nr. 88. p. 475 — 511.) mitgetheiltes, welches ich zunächst dem Herrn Prof. *Schweigger* verdanke. In dem Kriege, welchen die Engländer mit den Amerikanern führten, standen einst beide Armeen auf einem mit lockerem Schnee bedeckten Terrain einander nahe gegenüber. Der Tambour des einen Heeres rührte die Trommel, ein Officier des gegenüberstehenden sah dieses deutlich, so wie er auch andere Personen unterschied. Trotz dieser Nähe aber und der Vollkommenheit seines Gehöres hörte er von dem Trommelschlage nicht das Mindeste.

12) So unterhielten sich, wie mir gleichfalls Herr Prof. *Schweigger* gütigst mitgetheilt hat, z. B. einst zwei Officiere auf dem Eise in einer solchen Entfernung, in welcher man sonst nichts mehr zu hören vermag.

sch an Stärke der mittlere dieser Laute. Dasselbe Verhältniss waltet unter jenen Begriffen ob. Denn obgleich *Schall* allgemeine Bezeichnung alles Hörbaren ist, so wird dieses Wort doch zugleich auch in engerer Bedeutung gebraucht von dem Phänomen, welches der schwingende Körper durch unmittelbar von ihm ausgehende, unser Ohr erschütternde Schallwellen in diesem bewirkt. Ihm steht entgegen der *Hall*, die Wirkung der von einem sie hemmenden Gegenstande rückwärts schreitenden und das Ohr auf diesem Wege abermals berührenden Schallwellen, wie wir denselben mit seinen Unterarten *Nachhall* und *Wiederhall* bereits § 8. ausführlicher erklärt haben. Mit Recht wird das durch diese letztere Berührung in dem Ohre Bewirkte mit dem von Seiten des Anlautes schwächern Worte *Hall* bezeichnet, weil die zurückschreitenden Schallwellen stets schwächer sind als die, welche unmittelbar von dem schallenden Körper zu unserem Ohre gelangen, und somit natürlich auch das Ohr durch jene schwächer erschüttert wird als durch diese (1).

Dem *Schalle* sowohl als dem *Halle* gegenüber steht, oder vielmehr die höchste Potenz dieser beiden bezeichnet der *Gall*, seines stärkern Anlautes wegen. Denn während *Schall* in der oben angegebenen engern Bedeutung jedes von dem schwingenden Körper zunächst ausgehende, mit unsern Ohren empfundene Phänomen, *Hall* jede auf die bezeichnete Weise entstandene schwächere Wiederholung desselben bedeutet, wird dagegen *Gall* nur dasjenige genannt, welches mit der grössten Stärke unser Ohr durchdringt, und zugleich auch die obgleich schwächere, doch,

---

1) *Adelung* u. d. W. Hall betrachtet Schall und Hall geradezu als gleichbedeutend, u. d. W. Schall aber den Hall als Bezeichnung einer geringern Art von Schällen. In welcher Bedeutung *Grotefend* dieses Wort gebraucht, ist S. 3. erwähnt. *W. Weber* scheint dasselbe ähnlich wie Geräusch zu gebrauchen, indem er Akust. S. 4. sagt: »dass an das Hörorgan anschlagende Wellen, die nicht in gleicher Zeit auf einander folgen, die Empfindung eines blossen *Halls* oder *Lauts* (der seiner Höhe nach entweder bloss in Grenzen eingeschlossen oder gar nicht bestimmt werden kann) hervorbringen.«

an sich betrachtet, immer noch sehr starke Wiederholung desselben, oder ein dieser bloss ähnliches, in unserem Ohre, nachdem jene starke Erschütterung selbst vorüber ist, noch zurückbleibendes klingendes Getöse ([2]).

§ 11.

Qualität des Schalles.

Kehren wir nun von diesem Unterschiede des *Schalles*, *Halles* und *Galles* zu der allgemeinern Bedeutung des Schalles zurück, so müssen wir zunächst eines *qualitativen* Unterschiedes gedenken. Denn aller Unterschied der verschiedenen Schallarten ist entweder *qualitativ*, oder *quantitativ*, oder *beides* zugleich. Die Qualität sowohl als die Quantität des Schalles aber beruht, wie schon § 6 ff. bemerkt worden, auf der Qualität und Quantität der Molecule und der Schwingungen nicht nur des schallenden Körpers, sondern auch dessen, der ihn in Schwingung versetzt, und desjenigen, an den oder in dem er schwingt und der seine Schallschwingungen zum Ohre fortleitet. Die *Qualität des Schalles* insbesondere hängt bei dem schallenden Körper, um hier der Kürze wegen nur auf diesen unser Augenmerk zu richten, von der Qualität der Masse und Form seiner Molecule (vgl. § 7. *a.* *α.*) und der Qualität seiner Schwingungen ab. Diese beiden stehen zwar in enger Verbindung mit einander, da die Qualität der letztern zum Theil auf der Qualität der erstern und ihrer Verbindung zu einem Ganzen beruht ([1]); dessenungeachtet müssen wir sie von

2) Diese Bedeutungen ergeben sich aus den Beispielen, die *Adelung* bei d. W. Gall und besonders bei dem davon abgeleiteten W. gällen anführt. Vgl. *Grotefend* in d. Frankf. Abh. II. S. 106. u. *Eberhard*: Synon. III. S. 287. — *Gall* ist als selbstständiges Wort noch im Oberdeutschen im Gebrauch; im Hochdeutschen dagegen findet es sich nur noch in den zusammengesetzten W. *Nachtigall* u. *Seegall* (welches letztere wenigstens *Adelung* hier erwähnt). Ob es aber im Obd. s. v. a. Schall schlechthin bedeute, wie *Adelung* und *Campe* behaupten, lasse ich dahin gestellt.

1) Vgl. *Chladni* S. 60. — *Olivier*: Urstoffe d. m. Spr. S. 10. — *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 9 f.

einander unterscheiden, weil z. B. zwei Körper, die beide regelmässig schwingen, und von dieser Seite einerlei Qualität der Schwingungen haben, dennoch einen qualitativ verschiedenen Klang hervorbringen, wenn ihre Molecule von verschiedener Qualität sind (2). Diese letztere bloss auf der verschiedenen *Qualität der Masse und Form der Molecule* beruhende *Qualität des Schalles*, insbesondere des *Klanges*, heisst im Französischen *Timbre* (3). Dem Deutschen fehlt ein besonderes Wort dafür. Chladni (4) nennt sie *Modificationen* und *Articulationen* des Schalles oder Klanges, auch *Laut*; OLivier (5) schlägt dafür *Timmer*, G. Weber (6) *Tonfarbe* und, zugleich mit W. Weber (7), *Klangfarbe* vor, wofür aber der Letztere auch das einfache W. *Klang* gebraucht. Wohl vermag dagegen unsere Sprache die auf der *Qualität der Schwingungen* beruhende Qualität des Schalles, wenigstens dem wichtigsten Theile nach, zu bezeichnen. Von den fünf Seiten, von welchen wir jene S. 20 ff. betrachteten, gehören, wenn wir davon absehen, dass die Töne longitudinal schwingender Saiten nicht so angenehm wie die transversal schwingender sind (8), mithin auch die verschiedene *Richtung* der Schwingungen eine wenn auch nur geringe qualitative Verschiedenheit des Klanges bewirkt, nur zwei hieher, nämlich die *Gleichheit* oder *Ungleichheit der Räume und Zeiten*, in welchen die einzelnen Schwingungen sich wiederholen, und die *Gestalt*, welche der Körper bei seinen Schwingungen abwechselnd annimmt. So ändert sich, um mit der letztern zu beginnen, der eigenthümliche Klang einer Saite (nicht seine Höhe und Tiefe, sondern seine Helligkeit, Fülle, Weichheit u. s. w.) etwas ab nach der Verschiedenheit des Punktes, an welchem ihre Schwingungen erregt werden,

---

2) *Chladni* S. 60. 293. — *Pellisov*: Berichtig. u. s. w. S. 31; üb. Schall, Ton, Knall u. s. w. S. 15. 3) *Chladni* S. 61. 295. u. N. Beytr. S. 58. 4) S. 60 f. 260. 293. Dass *Chladni* die Qualität des Schalles *Laut* nenne, sagt *Baumgartner* S. 231. 5) A. a. O. S. 9. 6) A. a. O. I. S. 4. 7) Akustik S. 17. 8) *Chladni* S. 77.

weil darnach auch die Gestalt, die sie während der Schwingungen abwechselnd annimmt, eine verschiedene ist ([9]). Auch diese Art der Qualität des Schalles kann man in Ermangelung anderer Ausdrücke nicht anders als durch obiges *Timbre* und die dabei vorgeschlagenen Wörter bezeichnen. Bei weitem am wichtigsten aber ist die auf der *Gleichheit* oder *Ungleichheit der Räume und Zeiten*, in welchen die einzelnen Schwingungen sich wiederholen, beruhende Qualität des Schalles. Für die zwei Hauptclassen, in welche der Schall hiernach zerfällt, besitzen wir zwei bestimmte Bezeichnungen, *Klang* und *Geräusch*, unter deren ersterer wir den Schall verstehen, der durch in gleichen Räumen und Zeiten, also regelmässig sich wiederholende Schwingungen erzeugt wird; unter letzterer, dem *Geräusche* oder *Rausche*, dagegen den, welchen in ungleichen Räumen und Zeiten sich wiederholende Schwingungen bewirken ([10]). Statt dieser zwei Classen nehmen Andere ([11]) drei an, indem sie die unendlich vielen Grade der Unregelmässigkeit der zur zweiten Classe gehörigen Schwingungen in zwei Classen zerlegen: in *solche, welche den regelmässigen sich nähern*, und in *solche, welche ihnen ferner liegen.* Nur diese letztern nennen sie *Geräusch* oder *Räusche* ([12]), oder auch *verworrene Laute, Laute von unentschiedener, unerkennbarer Höhe,* auch *blosse Laute, tonlose Laute* ([13]); die erstern dagegen *Halbklänge* ([14]) oder *gemischte Laute*, bei denen das Gehör noch eine bestimmte Tonhöhe unterscheiden kann ([15]).

Anmerkung. Die zuvor über die Ursache des Timbre aufgestellte Ansicht hat man nicht als eine solche, in welcher die Akustiker

9) *H. u. W. Weber*: Wellenl. S. 458. Dasselbe findet auch bei gewissen Veränderungen der Schwingungsgestalt der Scheiben Statt, s. *Chladni*: N. Beytr. S. 34 f.
10) *Chladni* S. 3. 59 f. — *Liskovius* S. 6. — *Opelt* S. 9. 21. — Den Ausdruck *Räusche* zieht *Olivier* a. a. O. S. 10 f. jenem gewöhnlichern vor. 11) *Olivier* a. a. O. S. 11. — *G. Weber* stellt a. a. O. I. S. 2 f. zwar nicht, so wie jener, geradezu 3 Classen auf, indess theilt auch er die Classe der unregelmässigen Schwingungen in 2 Abtheilungen. 12) So *Olivier* a. a. O. I. S. 10 f. — *G. Weber* a. a. O. I. S. 3. 13) So *G. Weber* a. a. O. I. S. 3. 14) So *Olivier* a. a. O. S. 11. 15) So *G. Weber* a. a. O. I. S. 2.

mit einander übereinstimmen, sondern zunächst nur als meine eigene zu betrachten. Denn die Meinungen über diesen schwierigen und bis jetzt noch sehr wenig untersuchten Gegenstand sind noch immer sehr getheilt. Chladni erklärt offen, dass das Wesen der Qualität des Klanges noch ganz unbekannt sei, vermuthet aber, dass dieselbe von einiger Beimischung eines Geräusches, vielleicht von ungleichartigen Zitterungen der kleinen Theile eines elastischen Körpers herrühre (s. Akust. S. 60 f. u. N. Beytr. S. 35.). — Fétis leitet dieselbe (in s. Aufs.: Du son considéré dans le timbre, in der von ihm herausgegebenen Revue musicale. Tome XIII. VIIme année. Juillet 1833. Nr. 25. p. 193—196.) namentlich bei den Pfeifen, von dem Stoff, der Form und dem Maasse des klingenden Körpers her (s. die § 7. Note 1. mitgetheilte Stelle); ähnlich Fischer (üb. d. akust. Verh. d. A. S. 12.) von dem Material und der Gestalt des schwingenden Körpers und der eigenthümlichen Art der ursprünglichen Schwingungen. — W. Weber (Akust. S. 5.) meint, dass vermuthlich durch eine verschiedene gesetzliche Zunahme und Abnahme der Bewegung in den einander folgenden Wellen die Klangfarbe bestimmt werde. — Pellisov (üb. Schall, Ton, Knall u. s. w. S. 6.) nimmt an, sie werde durch die verschiedene Anordnung und Entfernung der Molecule eines Körpers von einander, durch ihre eigene Masse und die Grösse des Weges, den sie zurückzulegen haben, um in den Zustand des Gleichgewichtes zu gelangen, überhaupt also durch ihr Moment bestimmt, mit welchem sie auf den umgebenden oder angrenzenden Körper wirken und die Form ihrer Bewegung gleichsam in dem sie umhüllenden Medium abdrücken, welches sie zu unserem Ohre in eben dieser Form bringt, einem echten, wenn auch vergrösserten Abdrucke der Lage der Molecule eines Körpers.

§ 12.

Quantität des Schalles, insbesondere des Klanges.

Von diesen *qualitativen* Unterschieden gehen wir zu den *quantitativen* über. Die *Quantität der schallenden Körper* selbst, von der wir Seite 19. sprachen, ist nur von einerlei Art, nämlich eine *räumliche*; bei ihren *Schwingungen* aber unterschieden wir Seite 34 f. eine *räumliche* Quantität und eine *zeitliche*; hier, wo von der Quantität der

Wirkungen jener schwingenden Körper die Rede ist, müssen wir dieselbe eintheilen in eine *intensive*, *graduelle* und *zeitliche*.

§ 13.

I. *Intensive Quantität des Schalles, insbesondere des Klanges.*

Unter dieser verstehen wir seine *Stärke*. Diese beruht

1) theils auf der *Qualität*

a) sowohl des *schallenden Körpers* überhaupt, nämlich auf dem Grade seiner Elasticität und der Art, wie seine Molecule zu einem Ganzen verbunden sind ([1]); als auch auf der Qualität *seiner Schwingungen*. Denn dass auch auf diese etwas ankomme, erhellet daraus,

aa) dass bei gewissen abwechselnd wiederkehrenden Gestaltveränderungen eines schwingenden Körpers der Schall desselben voller ist als bei andern, s. Seite 66;

bb) dass durch Longitudinalschwingungen bewirkte Schälle stärker vernommen werden als andere, weil sie höher sind, und deshalb, wie schon Seite 32. und 44. erwähnt worden, der Luft leichter sich mittheilen ([2]).

b) des *seine Schwingungen erregenden Körpers*, weil von seiner Qualität nicht nur die Art der Erregung ([3]), sondern auch seine Fähigkeit zum Mitschallen abhängt.

c) des *Körpers, an den oder in dem er schwingt und*

---

1) *Gehler*: phys. Wörtb. III. S. 803. u. d. W. Schall. — *Olivier* a. a. O. S. 6 f. vgl. *Pellisov*: Berichtig. u. s. w. S. 18 f. 21. u. üb. Schall, Ton, Knall u. s. w. S. 8.

2) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 532 f.

3) So klingt z. B. eine Glocke stärker, wenn sie mit einem metallenen Hammer geschlagen wird, als wenn man sie mit einem gleich grossen Stücke Holz schlägt.

der seine Schwingungen zum Ohre fortleitet; denn auf seiner Qualität beruht

aa) zum Theil mit die *Art, wie der schallende Körper schwingt.* Man beachte nur, um sich hiervon zu überzeugen, die grosse Verschiedenheit des Klanges z. B. einer auf einem festen Körper ruhenden Glocke von dem einer frei schwebenden, bloss von der Luft umgebenen, und wiederum von dem einer ganz in Wasser eingetauchten. In diesem letztern Falle bringt sie, bis zu einer gewissen Tiefe untergetaucht, gar keinen bestimmbaren Klang mehr, sondern nur ein klapperndes Geräusch hervor ([4]).

bb) die *Fähigkeit des Mitschallens.* Wie einflussreich dieses auf die Stärke des Schalles sei, erkennt man besonders bei den fadenförmigen Körpern, den Saiten, welche auch bei der stärksten Schwingung an sich nur einen schwachen, kaum vernehmbaren Ton geben, mit einem Resonanzboden dagegen verbunden, nach der verschiedenen qualitativen und quantitativen Beschaffenheit desselben mehr oder minder stark vernehmbar tönen ([5]).

cc) die *Stärke der Fortleitung des Schalles.* Denn je dichter das den Schall fortpflanzende Medium ist, und je weniger es den Stössen des schallenden Körpers ausweicht, desto grösser wird die Dichte des verdichteten und desto kleiner die des verdünnten Theiles der Welle, die durch jene Stösse in ihm erzeugt wird, mithin desto intensiver der Schall ([6]). Die festen und tropfbar flüssigen Körper leiten den Schall stärker als die ausdehnbar

---

4) *Chladni* S. 259. 5) Ebend. S. 269 f. vgl. *Pellisor*: Berichtig. u. s. w. S. 14 f. u. *Perolle's* Aufs. in *Gilbert's* Annalen d. Ph. III. S. 173 ff. 6) *Baumgartner* S. 244 f., vgl. *Perolle* a. a. O. S. 167 ff.

flüssigen, weichen aber von einander wieder mannichfach ab (s. § 8. Note 19). Jedoch kommt es hier, wie schon oben Seite 43. bemerkt worden, nicht bloss auf die Qualität des schallleitenden Mittels allein, sondern auch auf das Verhältniss derselben zu der des schallenden Körpers, und ausserdem auch darauf an, ob sein Schall, um zu dem Ohre zu gelangen, nur durch Ein oder durch mehrere Mittel hindurch muss. Denn da nach Seite 46. bei jedem Übergange einer Schallwelle aus einem Mittel in ein anderes ein Theil in jenes zurückgeworfen wird, so wird natürlich der Schall stärker empfunden, der nur durch Ein Medium zu dem Ohre fortgeleitet ist (7).

d) des *Ohres*, welches einen Schall vernehmen will, vgl. Seite 10.

2) theils auf der *Quantität*

a) des *schallenden Körpers* überhaupt (8), (und, nach G. Weber's Theorie, auch auf der Quantität derjenigen Molecule desselben, welche der die Schwingungen erregende Körper zugleich in Bewegung gesetzt hat (9)), und auf der Quantität seiner *Schwingungen*, besonders der räumlichen (10) (s. Seite 34.)

---

7) Ebend. S. 244. 8) *Chladni* S. 232. — *Pellisov*: Berichtig. u. s. w. S. 19 f. — Daher werden die Töne fadenförmiger Körper ohne Resonanz schwächer vernommen als die von Streifen, und noch weit schwächer als die von Platten hervorgebrachten (s. *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 533.) 9) Dieser sagt nämlich in s. Theorie d. T. I. S. 3: »Ein Laut ist stark oder schwach, jenachdem *viele* oder *nur wenige Theile* eines grössern oder kleinern Körpers in starke oder schwächere Erzitterung versetzt sind.« Nach der Theorie der Gebr. *H.* u. *W. Weber* (Wellenl. S. 258.) u. *Baumgartner's* (S. 248.) dagegen kann ein Körper nur dadurch ein selbsttönender werden, dass *alle* seine Theilchen gleichzeitig schwingen, oder, mit andern Worten, dass er in eine stehende Schwingung versetzt ist. Indess könnten die Worte *Baumgartner's* S. 244: »Je mehr Theile des schallenden Körpers zugleich schwingen, — desto intensiver ist ihre Wirkung auf das Gehör« leicht als Beleg zu *G. Weber's* Ansicht gebraucht werden. 10) Diese hängt ab theils von der Elasticität des schwingenden Körpers, theils von der Qualität und Quantität des die Schwingungen desselben erregenden Körpers und der Kraft, womit dieser auf jenen einwirkt, theils von der Beschaffenheit desjenigen, an welchen oder in welchem jener schwingt. Vgl. *Fischer* in d. Berlin. Abb. 1824. Phys. Kl. S. 105 f.

aber zum Theil auch der zeitlichen, sofern unter den dadurch bedingten höhern und tiefern Tönen die erstern stärker auf das Gehör einwirken als die letztern ([11]).

b) des *Körpers, an den oder in dem jener schwingt* und *der seine Schwingungen zum Ohre fortleitet.* So eignen sich z. B. zu der Seite 14. Note 24. bezeichneten Mittheilungsart Gefässe, die etwas dünn und nicht allzu klein sind, besser als andere ([12]). Ferner ist es sehr wichtig, ob dieser Körper begrenzt ist oder nicht. Im erstern Falle kommt es sowohl auf die Grösse des begrenzten Raumes, als auch auf die innere und äussere Beschaffenheit der ihn begrenzenden Körper an, weil hierauf theils die den Schall verstärkende Zurückwerfung der Schallwellen, theils das Mitklingen dieser Körper beruht ([13]).

c) des *Raumes, den die Schallwellen durchlaufen müssen*, bis sie das Ohr des Hörenden berühren. Denn je weiter der Letztere von dem schallenden Körper entfernt ist, desto schwächer vernimmt er den Schall, da die Wirkungen der Schallwellen auf das Ohr sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten ([14]), und bei einer zu grossen Entfernung vernimmt er ihn gar nicht mehr. Die Grenze der Vernehmbarkeit ist aber nach der Verschiedenheit der Schärfe des Gehörs ([15]) und der schallleitenden

---

11) *Chladni* S. 232 f. — Die Ursache hiervon ist mit *H.* u. *W. Weber* (Wellenl. S. 532 f.) darin zu suchen, dass sich die höhern Töne der Luft leichter, mithin vollkommener mittheilen. 12) *Chladni* S. 263. 13) *Chladni* S. 241 f. 249—256. vgl. N. Beytr. S. 82—84. — *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 531. 535—37. 543—546. — *Treviranus*: Ges. d. org. Leb. B. II. Abth. 1. S. 122. Anm. 14) *v. Baer* I. S. 275. — *Baumgartner* S. 245. 15) Diese ist nicht nur bei einzelnen Menschen, wie Jeder weiss, sehr verschieden; sondern auch ganze Stämme gibt es, die von dieser Seite sich auszeichnen, weil sie zu grösserer Übung dieses Sinnes durch ihre Lage veranlasst werden. Hieher gehören namentlich die Araber in und um Algier, die sich eben so sehr durch ihre starke Stimme, mit der sie sich schon aus weiter Ferne einander begrüssen, wie durch ihr ausserordentlich scharfes Gehör auszeichnen. Zum Beweise des Letztern

Medien sehr verschieden ([16]). Bei der Luft hat auch die Richtung des Windes vielen Einfluss darauf ([17]).

3) theils auf die *Richtung* des Hörenden gegen den schallenden Körper überhaupt oder gegen eine gewisse Seite desselben. Denn der Schall wird um so stärker gehört, je mehr sich die akustische Axe der geraden Linie nähert, die von dem Orte der Entstehung des Schalles zum Innern des ihm zugewandten Ohres geht ([18]). Dass es aber auch nicht gleichgültig sei, gegen welche Seite desselben man sich richte, erhellet z. B. schon aus der allbekannten Erfahrung, dass wir die Worte eines Andern dann am besten vernehmen, wenn er mit seinem Gesichte uns zugewandt ist ([19]).

§ 14.

2. *Graduelle Quantität des Schalles, insbesondere des Klanges.*

Die zweite Art der Quantität des Schalles ist die *Höhe* und *Tiefe* desselben, in Bezug auf welche der Klang *Ton* genannt wird. Ich habe diese, um sie kürzer und auf eine den beiden andern Arten analoge Weise zu bezeichnen, ohne die in jenem Ausdrucke: »Höhe und Tiefe des Schal-

---

hier nur Ein Beispiel. Während der Feindseligkeiten in der Nähe Algiers wurde eine Abtheilung französischer Reiter vermisst und ein Capitain, Namens Lagondie, ausgesandt, sie aufzusuchen, wobei ein treuer Araber ihn als Führer begleitete. Schon war es ganz finster, als sie Pferde traben hörten. Lagondie, in der freudigen Voraussetzung, dass seine Landsleute ankämen, befahl einem Trompeter, sie mit seinem Instrumente freundlich zu bewillkommnen. »Halt!« rief der Araber, »es können ja arabische Reiter sein, keinen Lärm! wir wollen horchen, was sie sprechen.« Lagondie und seine Leute horchten lange, konnten aber keinen Laut hören; allein des Arabers Ohr war nicht so stumpf. Nach einigen Minuten sagte er: »Ja, es sind Franzosen; wenigstens sprechen sie nicht arabisch.« Er konnte demnach articulirte Worte vernehmen, wo das europäische Ohr keinen Laut zu unterscheiden vermochte. (s. den Aufs.: »Die Kabylen und andere Volksstämme in und um Algier«, in d. Magaz. f. d. Literatur des Auslands. Jan. 1836. Nr. 4. S. 14.) 16) *Chladni* S. 233. 236 f. vgl. oben 1) *c) cc)* und Note 6. 17) *Chladni* S. 234. 236. 18) *Treviranus*: Biol. B. VI. S. 334. 19) Weitere Belege davon bei klingenden Scheiben gibt *Chladni* S. 233 f., und besonders wichtige bei klingenden Stäben *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 506—510. vergl. oben S. 16 f.

les« liegende Metapher zu verlassen, die *graduelle* genannt, da wir diese Quantität gleichsam mit einer in Grade abgetheilten Scala messen. Welcher Grad dieser Scala einem Schalle zugeschrieben werden soll, oder, mit anderen Worten, seine Höhe und Tiefe hängt ab von dem Grade der *Schnelligkeit, mit welcher der schallende Körper seine Schwingungen wiederholt.* Diese letztere aber beruht

1) auf der *Qualität*

a) des *schwingenden Körpers selbst* und *seiner Schwingungen,*

b) des *Körpers, an welchen oder in welchem er schwingt.*

2) auf der *Quantität*

a) des *schwingenden Körpers,*

b) des *Körpers, an welchen oder in welchem er schwingt*, und der *Bewegung des seine Schwingungen bewirkenden Körpers.*

Bei der genauern Erörterung dieser Punkte ziehen wir es der leichtern Übersichtlichkeit wegen vor, von dieser strengern Eintheilung etwas abzugehen, und das hier zu Sagende so zu ordnen, dass wir reden

1) von dem Einflusse der Qualität des schwingenden Körpers selbst auf die graduelle Quantität seines Schalles;

2) von dem Einflusse der Qualität seiner Schwingungen auf jene Quantität seines Schalles;

3) von dem Einflusse der Quantität des schwingenden Körpers auf jene Quantität seines Schalles;

4) von dem Einflusse der Qualität und Quantität des Körpers, an welchen oder in welchem jener schwingt, und der Bewegung des seine Schwingungen bewirkenden Körpers auf die graduelle Quantität des Schalles.

§ 15.

1. *Einfluss der Qualität des schwingenden Körpers überhaupt auf die graduelle Quantität seines Schalles.*

Um die vielerlei Umstände, die hierbei ins Auge zu fassen sind, möglichst leicht überblicken zu können, theilen wir die Qualität des schwingenden Körpers eben so, wie Seite 18. geschah, in die seines *Stoffes* und die seiner *Form*. Die erstere Qualität kann man füglich seine *innere*, die letztere seine *äussere* nennen. Wir beginnen mit

a) seiner *innern Qualität*. Hier kommt in Betracht

aa) seine *Elasticität*. Diese Eigenschaft, auf welcher die Schwingungsfähigkeit überhaupt beruht, ist zwar allen Körpern eigen, jedoch in einem so verschiedenen Grade, dass man gewisse Körper, bei denen sie nur sehr schwach sich zeigt, geradezu *unelastische*, und nur diejenigen *elastische* zu nennen pflegt, in welchen sie stärker hervortritt ([1]). Zu den erstern gehören das Wasser und alle übrigen tropfbar flüssigen Körper. Denn obwohl längst, besonders durch Canton's, Abich's, Zimmermann's, Oersted's und Perkins' Versuche, die Compressibilität, und somit auch die Elasticität dieser Körper dargethan worden ([2]), die man auch schon aus ihrer Seite 15. erwähnten Fähigkeit der Fortpflanzung des Schalles zu folgern berechtigt war ([3]), so ist doch diese Eigenschaft bei ihnen so gering, dass man sich erlaubt hat, sie schlechtweg als incompressibele ([4]), unela-

1) S. oben S. 2. und die daselbst Note 5. angeführten Stellen. 2) *Gehler*: phys. Wörtb. IV. A. Wasser S. 631—40. vgl. V. A. Wasser S. 980 f. — *Biot* I. S. 336 f. — *Schweigger's* u. *Schweigger-Seidel's* Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. XIX. S. 186 ff. 3) *Gehler* IV. A. Wasser S. 633. — *Chladni* hingegen meint S. 258: »es möchte wohl die Art, wie der Schall durch das Wasser verbreitet wird, nicht füglich als eine Zusammendrückung und Wiederausdehnung (wie bei der Luft und den Gasarten), sondern vielmehr als eine von dem schallenden Körper dem Wasser durch einen unbemerkbar kleinen Raum mitgetheilte Stossbewegung anzusehen sein.« 4) So z. B. *Biot* I. S. 55 u. a.

stische Flüssigkeiten zu betrachten, und die nicht tropfbaren dagegen elastische zu nennen. Wegen dieses geringen Grades von Elasticität hat man noch nie bei dem Wasser oder einer andern tropfbaren Flüssigkeit einen Klang (d. i. solche eigenthümliche schwingende Bewegungen, etwa wie bei der in einer Pfeife eingeschlossenen Luft), oder bei einem in solchen Flüssigkeiten erregten Schalle einen Nachhall wahrgenommen (5). Wir haben deshalb hier, wo wir von selbsttönenden Körpern reden, nur die *festen* und die *elastisch flüssigen* von Seiten ihrer Elasticität zu betrachten. Diese Eigenschaft ist aber bei festen Körpern etwas ganz Anderes als bei flüssigen. Bei den erstern ist sie ein Bestreben, die vorige Gestalt wieder anzunehmen; bei den letztern ein Bestreben, sich durch grössere Räume auszubreiten. Es sind Phänomene von ganz verschiedener, ja entgegengesetzter Beschaffenheit; sie folgen verschiedenen Gesetzen und müssen aus verschiedenen Ursachen hergeleitet werden. Bei den elastisch festen Körpern nämlich bemerkt man Zusammenziehung nach vorhergegangener Dehnung, bei den elastisch flüssigen aber Wiederausdehnung nach vorherigem Zusammendrücken. Es scheint daher die Elasticität fester Körper von der Anziehung ihrer Theile herzurühren, die der flüssigen hingegen von der Expansivkraft des Wärmestoffes oder eines andern fortleitenden Fluidums (6). Man kann daher füglich die erstere die *attractive* oder *anziehende*, die letztere die *expansive* oder *ausdehnende* nennen. Wir müssen deshalb jede besonders betrachten.

α) Die *attractive Elasticität der festen Körper* wird

5) *Chladni* S. 258 f. Vgl. aber d. letzte Anmerk. zu § 16. 6) *Gehler* a. a. O. V. A. Elasticität S. 243—45. — vergl. *Biot* I. S. 20. 152. 323 ff.

von **Chladni** ([7]) in zwei Arten getheilt, deren eine er *Sprödigkeit*, die andere aber *Steifigkeit* nennt. Unter der erstern versteht er nach Seite 108 f. den Widerstand, welchen die Materie gegen jede Zusammendrückung und Ausdehnung nach der Richtung der Länge äussert, unter der letztern den Widerstand gegen jede seitwärts geschehende Biegung. Durch diese Ansicht bin ich Seite 32. veranlasst worden, jene Eigenschaften ganz verschiedene Kräfte zu nennen. Statt dessen möchte ich jetzt vielmehr beide als zwar äusserlich und in ihren Wirkungen namentlich auf das Ohr, verschiedene, innerlich aber, d. h. ihrem Wesen nach, eng mit einander verwandte Erscheinungen halten. Denn reibt man einen Stab seiner Länge nach, so wird dadurch eine Schwingung der Molecule von der einen Seite nach derjenigen, wohin die Reibung gerichtet war, und von dieser wieder nach jener bewirkt. Die Folge hiervon ist, dass bei jeder einfachen Schwingung *die eine Hälfte der Molecule verdichtet, die andere aber verdünnt*, bei jeder Zurückschwingung aber die kurz zuvor verdichtete verdünnt, die kurz zuvor verdünnte verdichtet wird. Aber auch bei jeder Transversalschwingung *verdünnt sich die eine Hälfte der nach einer Seite hin schwingenden Molecule* durch die Biegung, *die andere Hälfte wird verdichtet*, bei jeder Zurückschwingung aber wird die zuvor verdichtete Hälfte verdünnt, die zuvor verdünnte verdichtet, wovon man sich am leichtesten bei dem Biegen eines grünen Zweiges überzeugen kann. Die elastische Bewegung des Körpers besteht bei beiden darin, dass derselbe

7) Akust. S. 109.

die verdünnten, oder, was dasselbe ist, die ausgedehnten Theile in ihre frühere Dichtigkeit zurückzieht, wodurch zugleich die gesteigerte Dichtigkeit der andern aufgehoben wird. Dieser innigen Verwandtschaft aber ungeachtet trennen wir mit Chladni beide wegen der Verschiedenheit ihrer Schallwirkungen sowohl als auch anderer dabei obwaltender Umstände, und beginnen mit der

αα) *Sprödigkeit.* Was mit diesem Namen bezeichnet werden solle, ist bereits angegeben; es kann daher für unsere Untersuchungen kein Missverständniss daraus entstehen, dass Andere, wie Gehler, dieses Wort in einer etwas verschiedenen Bedeutung gebrauchen. *Spröde* heisst bei ihm nämlich ein fester Körper, wenn man die Lage seiner Theile durch äussere Gewalt nicht anders als mit gänzlicher Trennung ihres Zusammenhanges ändern kann, welcher Eigenschaft das Dehnbare, Streckbare, Geschmeidige, Biegsame entgegengesetzt sei. Die Elasticität setze zwar allemal voraus, dass ein Körper seine Gestalt ändern lasse: es scheine also, als könnten elastische Körper nicht spröde sein; aber Elasticität sei doch im Grunde nichts Anderes als Widerstreben gegen Änderung der Gestalt, und so könne wohl sehr starke Elasticität in Sprödigkeit selbst übergehen ([8]). Diese Ansicht weicht, wie man leicht sieht, von der Chladni's in zwei Punkten ab: 1) darin, dass hier unter Sprödigkeit das Widerstreben gegen Gestaltverän-

8) Phys. Wörtb. IV. A. Spröde S. 177 f. — Denselben Begriff verbindet *Baumgartner* S. 28. mit dem Worte. *Gren* nennt *spröde* diejenigen festen Körper, deren Theile sich nicht durch äussere Gewalt von einander weiter entfernen, oder die sich nicht dehnen lassen, ohne ganz ihre Cohäsion zu verlieren, s. Grundriss der Naturlehre S. 26.

derung nach jeder Richtung hin, und 2) darin, dass dasselbe in höchster Potenz genommen wird, so dass jeder Kampf mit der Sprödigkeit Trennung des Zusammenhanges zur Folge habe. Daher fügt er auch hinzu: »Spröde Körper heissen auch *zerbrechlich*, und, wenn sie sich durch geringe Kraft in sehr kleine Theile zertrennen lassen, *zerreiblich.*«

Mit der Sprödigkeit, in Chladni's Bedeutung aufgefasst, tritt in Kampf die Bewegung der Theile nach der Richtung der Länge, wie sie bei den Longitudinalschwingungen Statt findet ([9]). Die Sprödigkeit selbst aber ist

a) entweder eine *natürliche*, d. h. eine solche, wie sie dem Körper an sich schon inwohnt. Sie wirkt namentlich bei den Longitudinalschwingungen der Stäbe. Um zu erforschen, wie sich Stäbe verschiedener Materien von Seiten ihrer Töne zu einander verhalten, liess Chladni aus jeder dieser Materien einen 2 rheinländische Fuss langen Stab verfertigen und versetzte ihn, während derselbe an beiden Enden frei war, in die einfachste longitudinale Schwingung (s. unten). Die Verschiedenheit der so erhaltenen Töne schreibt er der grössern oder geringern Sprödigkeit der Materien zu. Da nun aber die das specifische Gewicht bedingenden Eigenschaften sonst stets so einflussreich sind, und namentlich bei den Luftarten (s. S. 85 ff.) einen entschiedenen Einfluss auf den Ton haben, so darf man auch bei den festen Körpern diesen Einfluss nicht bezweifeln. Wir tragen daher kein Bedenken,

---

9) S. S. 32.

die auffallende Erscheinung, dass Materien von so verschiedenem specifischem Gewichte, wie z. B. Messing, Eichenholz, Pflaumenbaumholz, thönerne Tabackspfeifenstiele, dennoch einerlei Ton geben, und ebenso wiederum Glas, Eisen, Stahl und Tannenholz, mit Chladni ([10]) durch die Annahme zu erklären, dass diese Materien auch ebenso sehr in der Sprödigkeit von einander abweichen, und die Übereinstimmung in dem Tone darin ihren Grund habe, dass beide Eigenschaften sich gegenseitig compensiren. Natürlich aber muss dann seine Vermuthung, dass die Töne jener Stäbe sich zu einander verhalten möchten wie die Quadratwurzeln der Sprödigkeit und umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Schwere ([11]) (des specifischen Gewichtes), als unwahrscheinlich zurückgewiesen werden. Wegen dieses wichtigen Einflusses des specifischen Gewichtes werde ich die Töne, welche seine Stäbe hervorbrachten, erst S. 91 f. beim Gewichte anführen.

b) oder eine *durch Spannung vergrösserte.* Diese kann bei Saiten eintreten. Um wie viel die Spannung den Ton zu erhöhen vermöge, ist Seite 31 f. erwähnt.

ββ) Die *Steifigkeit* der festen Körper ist von zweierlei Art:

a) eine *natürliche*, den Körpern an sich inwohnende. Die hieher gehörenden klingenden Körper sind entweder nach Einer Richtung ausgedehnte: Stäbe, Gabeln, Ringe u. s. w.; oder nach mehrern Richtungen ausgedehnte: Scheiben, Glocken, Gefässe u. s. w.

10) Akust. S. 108. 11) S. 108 f.

b) eine *künstliche, durch Spannung bewirkte.* Die Körper, bei welchen sie eintritt, sind gleichfalls entweder nach Einer Richtung ausgedehnte: Saiten; oder nach mehrern Richtungen ausgedehnte: Pauken- und Trommelfelle ([12]).

Mit dieser Art der Elasticität tritt in Kampf die Transversalschwingung. Ihre Töne müssen daher zu jener in einem bestimmten Verhältnisse stehen, sie verhalten sich nämlich wie die Quadratwurzeln der *Steifigkeit* ([13]) oder der *spannenden Kräfte*, wo die letztern an die Stelle der natürlichen Steifigkeit treten. Will man z. B., dass, wenn 2 Saiten durch angehängte Gewichte gespannt werden, die Töne der einen Saite um eine Octave höher sein, mithin ihr Ton zu dem der andern wie 2 : 1 sich verhalten soll, so muss das angehängte Gewicht 4 Mal so viel als bei der andern betragen. Soll aber der Ton der einen nur um eine Quinte höher sein, mithin zu dem der andern wie 3 : 2 sich verhalten, so müssen die spannenden Gewichte in dem Verhältnisse von 9 : 4 stehen ([14]). — Dass auch bei dieser Schwingungsart das specifische Gewicht Einfluss auf den Ton habe, wird unten beim Gewichte erwähnt werden.

β) Die *expansive Elasticität der flüssigen Körper* ([15]) hat, wie ihr Beiwort bezeichnet, einen der vorigen entgegengesetzten Charakter. Man unterscheidet bei diesen Körpern ihre *absolute Elasticität* von der *specifischen* ([16]).

αα) *Absolute Elasticität* eines solchen Körpers nennt

---

12) Vgl. *Gehler*: phys. Wörth. V. A. Klang S. 520. 13) So bei Stäben und Scheiben, die nicht aus einerlei Materie bestehen, übrigens aber ganz einander gleichen, s. *Chladni* S. 109. 124. 14) *Chladni* S. 71. 102. — *Biot* II. S. 20. 25. 15) Dass hier nur die sogenannten elastisch flüssigen Körper gemeint sein können, folgt aus dem S. 73 f. Gesagten. 16) *Gehler* a. a. O. I. A. Elasticität S. 709.

man die Stärke, mit welcher er der Kraft, die ihn zusammendrückt, widersteht, an sich, und ohne auf Dichtigkeit u. s. w. Rücksicht zu nehmen. Diese Elasticität muss, im Zustande der Ruhe, der drückenden Kraft gleich sein ([17]). Diese drückende Kraft ist

a) entweder eine *natürliche*, d. h. ohne eines Menschen Zuthun bestehende. Sie findet Statt bei den untern Schichten eines elastisch flüssigen Körpers, da sie durch das Gewicht der obern zusammengedrückt werden ([18]). Daher ist die absolute Elasticität der atmosphärischen Luft dem Drucke der Atmosphäre gleich ([19]).

b) oder eine *künstliche*, z. B. die einer Compressionsmaschine ([20]).

Mit dem Zu- und Abnehmen des Druckes nimmt auch die absolute Elasticität stets zu oder ab, weil sie mit demselben im Gleichgewichte steht. Eben so stehen beide, absolute Elasticität und zusammendrükkende Kraft, mit der Dichtigkeit (jedoch nur bei gleich warmer, gleich feuchter und gleich gemischter Luft ([21])) in gleichem Verhältniss. Denn wird ein elastisch flüssiger Körper durch einen stärkern Druck in einen engern Raum als vorher zusammengedrängt, so wird, wenigstens so lange er ruhig in diesem Raume bleibt, seine Dichtigkeit zugleich mit seiner absoluten Elasticität grösser. Nimmt der Druck aber ab, und verstattet jenem Körper sich in einen grössern

---

17) *Gehler* I. A. Elasticität S. 709. 711., III. A. Luft S. 9. 18) Ebend. I. A. Elasticität S. 708., III. A. Luft S. 6. 8 f. 17., A. Luftkreis S. 47 ff. 19) Ebend. III. A. Luft S. 17 f. — *Biot* I. S. 198. Diesen Druck der Atmosphäre zeigt bekanntlich das *Barometer* an. 20) Beispiele dieser Art s. bei *Gehler* a. a. O. I. A. Compressionsmaschine S. 529 ff., III. A. Luft S. 5 f. 15 f. 21) Nur unter dieser Beschränkung stehen Dichtigkeit und zusammendrückende Kraft in gleichem Verhältniss, s. *Gehler* a. a. O. III. A. Luft S. 17.

Raum zu verbreiten, so wird, wenn die Ruhe hergestellt ist, mit seiner absoluten Elasticität auch seine Dichte geringer ([22]). Folglich verhält sich die absolute Elasticität der Luft, zugleich mit ihrer Dichtigkeit, umgekehrt wie der Raum, den diese Menge Luft einnimmt. Sie werden z. B. auf die Hälfte herabgesetzt, wenn sich dieselbe Luftmasse durch einen doppelt so grossen Raum ausbreitet ([23]). Alle diese eben angegebenen Verhältnisse sind unter dem Namen des *Mariottischen Gesetzes* bekannt. Man kann dasselbe zwar nicht allgemein und in aller Schärfe, aber doch, so weit unsere Beobachtungen und Versuche reichen, annehmen ([24]).

ββ) *Specifische Elasticität* heisst das Verhältniss zwischen der absoluten Elasticität und der Dichtigkeit eines elastisch flüssigen Körpers im Vergleich mit einem andern. Unter *Dichtigkeit* versteht man die Vertheilung der Materie eines Körpers durch den Raum, den er uns einzunehmen scheint, so dass man einem Körper eine *grössere Dichtigkeit* zuschreibt, wenn er in eben demselben Raume *mehr* Materie, eine *geringere*, wenn er unter eben dem Raume *weniger* Materie enthält als ein anderer. Daher verhalten sich, wenn zwei Körper einerlei Raum einnehmen, ihre Dichtigkeiten wie ihre Massen (d. h. wie die Mengen ihrer Materie); und wenn zwei Körper einerlei Masse haben, so verhalten sich ihre Dichtigkeiten umgekehrt wie die Räume, die sie einnehmen. Die Dichtigkeiten verhalten sich also direct wie die Massen und umgekehrt wie die Räume, oder, was auf dasselbe hinausläuft, wie die

22) *Gehler* a. a. O. III. A. Luft S. 9. 12., A. Luftkreis S. 47 ff. 23) Ebend. III. A. Luft S. 11 ff. — vgl. *Biot* I. S. 202—4. 24) *Gehler* a. a. O. III. A. Luft S. 14—16., A. Luftkreis S. 49 f. — *Biot* I. S. 204 f. 252. 271 f. u. a.

Quotienten der Massen durch die Volumina. Das Wort *Dichtigkeit* drückt demnach einen relativen Begriff aus, d. h. man kann nicht sagen, wie gross die Dichtigkeit eines Körpers an sich sei, sondern nur, wie sie sich zu der eines andern verhalte, so dass man also nicht Dichtigkeiten einzelner Körper, sondern nur Verhältnisse der Dichtigkeiten verschiedener Körper zu bestimmen vermag ([25]). Deshalb ist auch der das Verhältniss zwischen der Dichtigkeit und absoluten Elasticität bezeichnende Ausdruck »*specifische Elasticität*« ein relativer. Denn es lässt sich nie die specifische Elasticität eines einzelnen elastisch flüssigen Körpers an sich, sondern nur das Verhältniss der specifischen Elasticitäten zweier oder mehrerer solcher Körper angeben. Ein Körper der Art ist specifisch elastischer als ein anderer, wenn er bei geringerer Dichtigkeit dennoch gleich stark, und bei eben derselben Dichtigkeit stärker drückt als dieser ([26]). Die *specifischen Elasticitäten* verhalten sich deshalb wie die Quotienten der absoluten Elasticitäten (oder, was auf Eins hinauskommt, der drückenden Kräfte) durch die Dichtigkeiten, so wie umgekehrt die *absoluten Elasticitäten* wie die Producte der specifischen mit den Dichtigkeiten (denn sie verhalten sich bei gleicher Dichtigkeit wie die specifischen, und bei gleicher specifischen Elasticität wie die Dichtigkeiten ([27])). Daher wird durch Alles, was die Dichtigkeit verändert, zugleich die specifische Elasticität verändert, mithin durch die *Wärme* ([28]), durch *Dünste* oder *Feuchtigkeit* ([29]) und durch *Vermengung* oder

25) *Gehler* a. a. O. I. A. Dichte. S. 580 ff.

26) Ebend. I. A. Elasticität S. 709.

27) Ebend. I. A. Elasticität S. 709. 712., III. A. Luft S. 17.

28) Ebend. I. A. Elasticität S. 710. 713., III. A. Luft S. 17 f. — *Biot* I. S. 238 ff.

29) *Gehler* a. a. O. III. A. Luft S. 17. 22. — *Biot*. I. S. 251 ff. 286 ff.

chemische Mischung verschiedener flüssiger Körper ([30]).

Von diesen zwei Arten der Elasticität elastisch flüssiger Körper hat nur die *specifische* Einfluss auf ihren Ton ([31]). Diese beruht, dem Obigen zufolge, auf dem Verhältnisse ihrer absoluten Elasticitäten zu ihren Dichtigkeiten, die Dichtigkeiten aber sind stets gleich den in einerlei Raum enthaltenen Massen ihrer Materie. Da nun alle uns bekannte Materie schwer ist, so geben die Gewichte der Materien zweier Körper das Verhältniss ihrer ganzen Massen an. Man kann daher, wo es bloss auf Verhältnisse ankommt, das Gewicht für die Masse setzen, und den obigen Satz: »die Dichten der Körper verhalten sich wie die Quotienten der Massen durch die Volumina«, auch ausdrücken durch: »die Dichten der Körper verhalten sich wie die Quotienten der Gewichte durch die Volumina.« Dieser letztere Satz aber zeigt zugleich das Verhältniss der specifischen Gewichte der Körper an. Folglich ist das Verhältniss der Dichten einerlei mit dem Verhältniss der specifischen Gewichte ([32]). Daher findet das über den Einfluss der specifischen Elasticität auf den Ton zu Sagende in der nächst folgenden Rubrik seine passendere Stelle.

Ausser dieser Elasticität kommt von der innern Qualität des schwingenden Körpers hier in Betracht

bb) seine *specifische Schwere* oder, richtiger zu reden, sein *specifisches Gewicht.* Die beiden Ausdrücke *Schwere* und *Gewicht* bezeichnen nämlich, obgleich sie oft, und zwar nicht nur im gemeinen Leben ([33]),

---

30) *Gehler* a. a. O. A. Gas II. S. 355., V. S. 425. u. III. A. Luft S. 22 f. — *Biot* I. S. 271 ff. 31) *Chladni* S. 90. 223. 32) *Gehler* a. a. O. I. A. Dichte S. 583., III. A. Masse S. 143 ff. 33) Ich erinnere hier namentlich an den Gebrauch des Wortes *schwer* für *ein grosses Gewicht habend*, dessen Gegensatz durch *leicht* ausgedrückt

sondern auch in physikalischen Werken, besonders den ältern, als gleichbedeutend gebraucht werden, und namentlich das, was jetzt genauer *specifisches Gewicht* heisst, *specifische Schwere* genannt wird, dennoch etwas sehr Verschiedenes. *Schwere, Gravitation*, auch *Attraction* (34) heisst das Phänomen der Körperwelt, da entfernte Körper sich einander nähern oder zu nähern streben, ohne dass man eine äussere Ursache davon gewahr wird. Diese Kraft wirkt eben so bei der Centralbewegung der Weltkörper, wie bei allen Körpern unserer Erde. Denn sowohl die Intensität der Centripetalkräfte jener, als auch die Stärke des Bestrebens dieser nach dem Mittelpunkte der Erde sich zu bewegen, oder, mit andern Worten, ihr Bestreben zu *fallen*, stehen beide in geradem Verhältnisse mit der Masse des anziehenden Körpers, und in umgekehrtem mit dem Quadrate der Entfernung des anziehenden und des angezogenen Körpers (35). Aus diesem Grunde ist, um bei der Schwere der Erdkörper stehen zu bleiben, die Stärke derselben in höhern Gegenden geringer

---

wird. Beide Wörter bezeichnen demnach hier relative Begriffe; denn keinen Körper darf man *absolut schwer* oder *absolut leicht* in diesem Sinne nennen, sondern nur sagen, dass er leichter oder schwerer als ein anderer sei, s. *Gehler* a. a. O. II. A. Leicht S. 871., III. A. Schwere S. 886. 34) Ebend. I. A. Attraction S. 165 ff., II. A. Gravitation S. 517 f. Bei dem Worte *Attraction* ist noch zu erwähnen, dass es, nach dem durch *Newton* eingeführten Gebrauche, den zuvor genannten 2 Namen nicht neben-, sondern übergeordnet ist. Denn diese bezeichnen nur eine besondere Art der Attraction, diejenige nämlich, welche an Körpern sich zeigt, die in beträchtlichen oder merklichen Entfernungen von einander abstehen. Die aber, welche an Körpern sich zeigt, die sich berühren, deren Entfernungen unmerklich sind, führt bei Theilen eines und eben desselben Körpers den Namen der *Cohäsion*, des *Zusammenhanges*, und wenn das Phänomen zwischen Theilen eines flüssigen und einem festen Körper Statt findet, den Namen der *Adhäsion*, des *Anhängens*, s. *Gehler* a. a. O. I. A. Attraction S. 171 f. 35) Ebend. I. A. Attraction S. 171 f., A. Centralbewegung S. 481., A. Centralkräfte S. 499. 501., II. A. Erdkugel S. 27., A. Gravitation S. 522. 526., III. A. Schwere S. 889. — *Baumgartner* S. 74. — *Biot* I. S. 331. Das obige Gesetz gilt jedoch nur bei den *ausserhalb* des Erdkörpers befindlichen Körpern. Denn bei den *innerhalb* desselben sich befindenden wächst die durch die Schwere bewirkte Geschwindigkeit ihres Falles nicht mehr im verkehrten *quadratischen*, sondern im verkehrten *einfachen* Verhältnisse der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde .s. *Baumgartner* S. 76.

als in niedrigern ([36]). Zum Theil auf eben diesem Grunde, weit mehr aber noch auf der Bewegung der Erde um sich selbst, wobei der Schwere die Schwungkraft entgegenwirkt, beruht die Thatsache, dass die Körper in den Polen am schnellsten, weniger schnell in den zwischen ihnen und dem Äquator liegenden Gegenden, am Äquator selbst aber am langsamsten fallen ([37]). Demnach hat auf die Schwere der Körper Einfluss ihre Entfernung vom Mittelpunkte der Erde und die geographische Breite des Ortes, an welchem sie fallen; nicht aber wirkt darauf ein die Anzahl der Theile, oder, wie man dafür auch sagt, die Masse des Körpers. Denn an einem und demselben Orte der Erde fallen alle Körper, grosse und kleine, schwere und leichte, d. h. viel und wenig wiegende, an und für sich mit einerlei Geschwindigkeit ([38]). Die Richtung, in welcher sie fallen, ist allenthalben senkrecht auf die Oberfläche des ruhigen Wassers ([39]). Nach dieser Richtung aber

---

36) *Gehler* a. a. O. III. A. Pendel S. 429., A. Schwere S. 889. 37) Ebend. II. A. Erdkugel S. 21 f., A. Fall der Körper S. 117., III. A. Schwere S. 889 f. — Diese Verschiedenheit der Schwere der Erdkörper, sowohl die zuletzt erwähnte, als auch die zuvor genannte von der Höhe und Tiefe des Standpunktes abhängende, steht in der engsten Verbindung mit dem Gange eines *Pendels*, und lässt sich daher an demselben am zuverlässigsten abmessen. Denn mit der Zu- und Abnahme der Schwere nimmt auch, und zwar aus denselben Gründen, die Geschwindigkeit der Pendelschwingungen zu und ab. Da diese aber mit der Länge der Pendel innigst zusammenhängt, so verhält sich auch die Schwere an den verschiedenen Orten der Erde nicht bloss wie die Quadrate der Schwingungszahlen gleicher Pendel, die sie in gleichen Zeiten an diesen Orten vollbringen, sondern auch wie die Längen der Pendel, welche an jenen Orten in gleicher Zeit eine gleiche Anzahl von Schwingungen machen, oder, was auf dasselbe hinauskommt, wie die Länge der Secundenpendel dieser Orte, s. *Gehler* a. a. O. II. A. Erdkugel S. 25 f., III. A. Pendel S. 426 ff., A. Schwere S. 888 f. — *Baumgartner* Suppl. S. 1008 f. — Minder genaue Resultate als diese Vergleichung der Pendel geben die Rechnungen, bei welchen der Satz, die Zunahme der Schwere vom Äquator nach dem Pole zu verhalte sich allemal wie das Quadrat des Sinus der geographischen Breiten, zum Grunde gelegt ist, s. ebend. III. A. Pendel S. 429 f., A. Schwere S. 891., A. Schwungkraft S. 918. 38) Dass bei wirklicher Anstellung des Versuches im *luftvollen* Raume leichtere Körper langsamer fallen als schwerere d. h. mehr wiegende, ist bloss eine Wirkung des Widerstandes der Luft und gehört nicht zur Betrachtung des freien Falles an sich, s. *Gehler* a. a. O. II. A. Fall der Körper S. 116., A. Kraft S. 800.; vgl. III. A. Schwere S. 888. 39) Ebend. III. A. Schwere S. 887. — *Biot* I. S. 40.

wirkt die jedem einzelnen Theile jedes Körpers inwohnende Schwerkraft so, als ob sie in einem einzigen Punkte des Körpers vereinigt wäre. Man nennt daher diesen Punkt den *Mittelpunkt der Schwere* oder kürzer den *Schwerpunkt* ([40]), redet jedoch bloss bei festen Körpern von einem solchen; flüssige haben nur in so fern einen, als sie sich in Gefässen befinden, und als feste Massen betrachtet werden können ([41]). Befestigt man diesen Schwerpunkt und zwar entweder ihn selbst oder einen andern Punkt, der senkrecht über oder unter ihm liegt (da, wie wir zuvor erwähnt, die Schwere eine verticale Kraft ist), durch eine Unterlage oder durch Aufhängung, so wird der Körper am Falle verhindert ([42]) und äussert sein Bestreben darnach d. h. seine Schwere nunmehr durch *Druck* entweder unmittelbar auf seine Unterlage oder, wenn er mittelst eines Körpers an einem andern aufgehängt ist, mittelbar auf den letztern. Hierbei ist die Menge seiner Theile nicht mehr gleichgültig; denn da jenes Bestreben zu fallen in jedem Theile seiner Materie gleich gross ist, das Hinderniss aber den Fall *aller Theile* verhüten muss, so wird dasselbe desto mehr gedrückt, je grösser die Anzahl der Theile oder die Masse jenes Körpers ist. Die Grösse dieses Druckes, oder, mit andern Worten, die Grösse seines Bestrebens zu fallen, heisst das *Gewicht* des Körpers. Demnach unterscheidet sich das *Gewicht* der Erdkörper von ihrer *Schwere* dadurch, dass die letztere das von der Gravitation der Materie gegen die Erde abhängende Bestreben ist, womit jeder einzelne Theil der Materie überhaupt fallen will, *Gewicht* aber die

---

40) *Gehler* a. a. O. III. A. Mittelpunkt S. 252 f., A. Schwerpunkt S. 922 ff. — *Biot* I. S. 40. 41) *Baumgartner* S. 76. 42) *Biot* I. S. 41. — *Baumgartner* S. 78.

Summe der Bestrebungen, womit alle Theile eines bestimmten Körpers zum Falle getrieben werden. Daher ist das Gewicht eines Körpers gleich dem Producte seiner Schwere mit seiner Masse d. i. der Anzahl seiner Theile ([43]). Hieraus folgt, dass man das Gewicht desselben auf dreierlei Weise verändern könne: 1) durch Veränderung seiner Schwere, indem man ihn an einen höher oder tiefer, oder unter einer andern geographischen Breite liegenden Ort versetzt, 2) durch Veränderung der Anzahl seiner Theile, 3) oder durch beiderlei Veränderungen zugleich ([44]).

Man unterscheidet beim Gewicht *absolutes*, *relatives* und *specifisches*. *Absolutes Gewicht* heisst die wahre, wirkliche Grösse des Druckes, den ein Körper durch seine Schwere auf das ihn am Fallen Hindernde ausübt. Diesem steht entgegen das *relative*, welches man von einem Körper erhält, wenn man ihn in einen elastisch oder tropfbar flüssigen Körper einsenkt. Er verliert dadurch von seinem absoluten Gewichte stets so viel, als das Gewicht des von ihm aus der Stelle getriebenen flüssigen beträgt. Eine Kugel z. B., welche 11 Loth absolutes Gewicht hat, und so gross ist, dass sie 1 Loth Wasser aus der Stelle treibt, wird, in Wasser gesenkt, nur 10 Loth wiegen. Dieser Überrest heisst ihr *relatives Gewicht* ([45]). — Das absolute Gewicht,

---

43) *Gehler* a. a. O. III. A. Schwere S. 888. 890., vgl. II. A. Kraft S. 799 f. 44) Ebend. II. A. Gewicht S. 491 f., III. A. Pendel S. 429, A. Schwungkraft S. 955. — Vgl. *Biot* I. S. 291. 45) *Gehler* II. A. Gewicht S. 492 f., A. Gleichgewicht S. 506, III. A. Masse S. 145. — *Biot* I. S. 70. — Aus dem Gesagten folgt, dass man das *absolute Gewicht* eines Körpers erst dadurch erhalte, dass man zu dem relativen das Gewicht des von ihm aus seiner Stelle getriebenen flüssigen Körpers hinzurechnet, wenn jenes relative Gewicht grösser als das Gewicht dieses flüssigen oder ihm gleich ist. Im letztern Falle ist das *relative Gewicht* des erstern = 0, das *absolute* aber ist gleich dem des aus der Stelle getriebenen flüssigen Körpers. Ist aber der seinem Gewichte nach zu untersuchende Körper leichter als der flüssige, dessen Stelle er einnimmt, so ist sein *relatives Gewicht*

im Verhältnisse mit dem Raume betrachtet, den der Körper einnimmt, also mit dem Volumen desselben, gibt den Begriff von *eigenthümlichem Gewicht*, *specifischem Gewicht*, für welchen Namen man sonst den Ausdruck *specifische Schwere* gebrauchte, der aber deshalb weit minder schicklich ist, weil hier vom *Gewichte* der ganzen Summe von Theilen, nicht aber von der *Schwere* jedes einzelnen Theiles des Körpers die Rede ist. Wie die obige Benennung *specifische Elasticität*, so drückt auch diese einen relativen Begriff aus. Denn man kann nicht sagen, wie gross das eigenthümliche Gewicht eines einzelnen Körpers an und für sich sei, sondern vermag nur zu bestimmen, wie es sich zu dem eigenthümlichen Gewichte eines andern Körpers verhalte ([46]). Derjenige von beiden, welcher an ebendemselben Orte bei gleichem Volumen mehr wiegt als der andere, hat ein grösseres specifisches Gewicht als dieser (man nennt jenen daher auch, an den eben erwähnten Ausdruck sich haltend, *specifisch schwerer* oder *schwerartiger*, diesen *specifisch leichter* oder *leichtartiger*), woraus man, da alle bekannte Materie schwer ist, den Schluss zieht, dass jener in gleichem Raume mehr Masse als dieser enthalte, mithin *dichter*, letzterer dagegen wegen seiner geringern Masse *dünner*, *lockerer* sei. Deswegen gilt *specifisches Gewicht* und *Dichte* der Körper für einerlei, indem beides relative Begriffe sind, die auf einerlei Verhältnisse führen ([47]). Die specifischen Gewichte verhalten sich nämlich wie die Quotienten der abso-

---

sogar negativ (weniger als nichts); dessen ungeachtet aber hat auch ein solcher ein *absolutes Gewicht*, welches aber natürlich geringer ist als das des aus der Stelle getriebenen flüssigen Körpers. 46) *Gehler* III. A. Gewicht S. 492., II. A. Schwere S. 902 f. 47) Ebend. II. A. Leicht S. 872., III. A. Schwer S. 866., A. Schwere S. 902. — *Biot* I. S. 291.

luten Gewichte durch die Volumina, und eben so verhalten sich auch die Dichtigkeiten der Körper, weil die Masse dem Gewichte proportional ist. — Gewöhnlich vergleicht man die Körper, deren specifisches Gewicht man sucht, mit dem reinen (destillirten oder Regen-) Wasser, dessen specifisches Gewicht man = 1 oder = 1000 setzt, jenachdem man das jener andern durch Decimalbrüche oder bloss durch ganze Zahlen ausdrücken will ([48]).

Nach dieser Erläuterung der Begriffe von *Schwere* und *Gewicht*, die mir zur allgemeinen Verständlichkeit des Folgenden nothwendig schien, gehen wir nun zu den Resultaten über, welche Chladni bei seinen Klangversuchen mit Stäben verschiedener Materien und mit verschiedenen Luftarten erhielt.

Den von ihm gebrauchten 2 rheinländische Fuss langen *Stäben* zufolge, deren jeder, während er an beiden Enden frei war, in die einfachste longitudinale Schwingung (s. unten) versetzt wurde, findet zwischen den verschiedenen Materien, aus denen sie bestanden, und bei denen sowohl ihre verschiedene Sprödigkeit als auch ihr verschiedenes specifisches Gewicht gemeinsam auf ihre Schwingungen einwirkten, ungefähr folgendes Tonverhältniss Statt:

---

48) Bei den elastisch flüssigen Körpern nimmt man zunächst das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft als Gewichtseinheit an, und bestimmt darnach das der übrigen. Die so erhaltenen Bestimmungen lassen sich dann leicht mit den Angaben, welchen das specifische Gewicht des Wassers zum Grunde liegt, in Übereinstimmung bringen, da man das Verhältniss des specifischen Gewichtes der atmosphärischen Luft zu dem des Wassers kennt. — Wie dergleichen Untersuchungen überhaupt angestellt werden, zeigt namentlich *Biot* I. S. 290—314. — Vor Allem ist bei Versuchen dieser Art darauf zu sehen, dass sie unter einerlei Temperatur der äussern Luft d. i. bei einerlei Stande des Thermometers angestellt werden. Denn da eine grössere Wärme die Körper mehr ausdehnt, ihr Volumen vergrössert, mithin die Quotienten des Gewichtes durch das Volumen, geringer macht, so würde, wenn man das specifische Gewicht des einen Körpers in einer andern Temperatur als das eines andern bestimmte, nothwendig ein anderes Verhältniss der Quotienten sich ergeben, als wenn bei beiden gleiche Temperatur Statt gefunden, vgl. *Biot* I. S. 209. 238 ff.

Materie des Stabes.	Specifisches Gewicht der Materie.	Ton des Stabes dieser Materie.
Fischbein	1,3	ungefähr a
Englisches Zinn	7,471 bis 7,645 nach *Eytelwein*	h
Silber (ungefähr 15 löthig)	10,552 nach *Bergmann*	d
Taxus- (oder Eiben-) Holz	0,788 nach *Musschenbroek*	f
Nussbaumholz	0,670 nach *Eytelwein*	f
Messing	8,395 nach *Brisson*	fis
Eichenholz	altes 1,666, anderes leichter als Wasser, nach *Musschenbroek*	fis
Pflaumenbaumh.	0,785 nach *Musschenbroek*	fis
Thönerne Tabackspfeifenstiel.	ungefähr 2,4	e bis g
Kupfer	8,876 nach *Bergmann*	beinahe g
Birnbaumholz	0,661 nach *Musschenbroek*	g bis a
Rothbüchen	(trockenes) 0,681 nach *Eytelwein*	g bis a
Ahorn	0,755 nach *Musschenbroek*	g bis a
Mahagoni (gewöhnliches unächtes)	ächtes 1,063 nach *Musschenbroek*, anderes (unächtes?) fand er leichter als Wasser (s. *Erxleben* S. 130.)	beinahe b
Ebenholz	(indian.) 1,209 nach *Musschenbroek*	ungefähr b
Weissbüchen	0,755 nach *Eytelwein*	— h
Rüstern (oder Ulmen)	0,600 (bei *Gren* S. 126.) od. 0,671 (bei *Erxleben* S. 131.) nach *Musschenbroek*	— b
Erlen	(trockenes) 0,485 nach *Eytelwein*	— h

Materie des Stabes.	Specifisches Gewicht der Materie.	Ton des Stabes dieser Materie.
Birkenholz	(trockenes) 0,661 nach *Eytelwein*	ungefähr b
Lindenholz	0,604 nach *Musschenbroek*	beinahe h
Kirschbaumholz	0,715 nach *Musschenbroek*	h
Weidenholz	0,585 nach *Musschenbroek*	c
Kiefernholz	(ganz trockenes) 0,553 nach *Wolfram*	c
Glas	weisses 2,715, grünes 2,619 bis 2,904 nach *Eytelwein*	ungefähr cis
Eisen	7,800 nach *Bergmann*	— cis
Stahl (49)	7,833 nach *Brisson*	— cis
Tannenholz	0,550 nach *Musschenbroek*	etwas höher als cis

Alle diese Töne fester Körper bei ihren Longitudinalschwingungen sind viel höher, als der Ton einer eben so langen Luftstrecke in einer offenen Pfeife, welcher nach Chladni ungefähr das ungestrichene c sein würde (50).

Anmerkung. Dieses Verzeichniss findet man bei Chladni S. 107 f., jedoch ohne Beifügung des specifischen Gewichtes, dessen Angabe ich, da sie hier nothwendig schien, aus folgenden

49) Dasselbe Tonverhältniss, welches hiernach zwischen messingenen und stählernen Stäben besteht, findet nach S. 18. auch zwischen Saiten derselben Metalle Statt.
50) Akust. S. 108. — Genau um eine Octave weicht von dieser Angabe des Verhältnisses der Tonhöhe einer gleich langen, in einer offenen Pfeife schwingenden Luftsäule zu der jener longitudinal schwingenden Stäbe, diejenige ab, welche *Gilbert* in einer Anmerkung seiner Annalen der Physik Bd. III. S. 184. mittheilt, wornach der Ton eines Stabes von Zinn um 2 Octaven und eine Septime, von Silber um 3 Octaven und einen ganzen Ton, von Kupfer um 3 Octaven und eine Quinte, von Eisen und Glas um 4 Octaven und einen halben Ton höher ist. Die Verschiedenheit dieser Angaben beruht entweder auf einer Gehörstäuschung, oder vielleicht auf einer Verwechslung der Wörter *ungestrichen* und *eingestrichen*.

Werken entlehnt habe: J. C. P. Erxleben: Anfangsgründe der Naturlehre. 4. Auflage. Mit Zusätzen von G. C. Lichtenberg. Göttingen, J. C. Dieterich, 1787. 8. S. 129—131. — F. A. C. Gren: Grundriss der Naturlehre. Halle, Hemmerde und Schwetschke, 1788. 8. S. 122—126. — J. A. Eytelwein: Vergleichungen der in den Königlich Preussischen Staaten eingeführten Maasse und Gewichte. Berlin, F. Maurer, 1798. 8. S. 81—84. — L. F. Wolfram: Lehre von den Baustoffen. III. Abtheilung. Lehre vom Bauholze. Stuttgart, C. Hoffmann, 1833. 4. S. 37. — Das specifische Gewicht des Fischbeins, welches in keinem der eben erwähnten Werke sich findet, habe ich aus dem Aufs.: Adam Burg, über die Stärke und Festigkeit der Materialien, im Polytechnischen Central-Blatt. April 1837. (Leipzig bei L. Voss.) Nr. 23. S. 362, entnommen. — Es möge Niemanden befremden, wenn er irgendwo, z. B. in den hier genannten Schriften, Angaben findet, die von den hier verzeichneten abweichen. Denn gesetzt auch, alle solche Untersuchungen wären mit gleicher Genauigkeit und bei gleicher Temperatur angestellt, so wird doch bei den Metallen die namentlich bei einzelnen Statt findende, theils durch die Natur selbst, theils durch die Behandlungsweise bewirkte grosse Verschiedenheit, bei den Holzarten aber sowohl die verschiedene Beschaffenheit gleichnamiger Arten, als auch die verschiedene Wahl des Theiles, von welchem das zu prüfende Stück entnommen ist, ob vom Stamme oder von einem Zweige, wie auch der verschiedene Zustand des Holzes, ob es grün oder lufttrocken oder ganz trocken ist, nothwendig eine Verschiedenheit der Resultate herbeiführen, wie man in Betreff der Metalle aus J. F. Lorenz: Die Elemente der Mathematik. II. Theil. Die angewandte Mathematik. I. Abtheilung. Die mechanischen und optischen Wissenschaften. 2. Ausgabe. Leipzig, J. G. Müller. 1795. 8. S. 165, und Eytelwein; in Betreff der Holzarten aus Wolfram (vgl. auch Gren S. 125 f.) erkennt.

Bei *transversal* schwingenden festen Körpern, welche bei einerlei Quantität qualitativ verschieden sind, verhalten sich die Töne nach Chladni wie die Quadratwurzeln ihrer Steifigkeit und umgekehrt wie die Quadratwurzeln ihrer specifischen Gewichte. So gibt er namentlich bei transversal schwingenden

Stäben und Scheiben von der eben erwähnten Beschaffenheit das Tonverhältniss an ([51]).

Von diesen festen Körpern gehen wir zu den *elastisch flüssigen* über, von deren expansiver Elasticität diejenige Art, welche die specifische genannt wird, hier als einflussreich in Betracht kommt. Dem Obigen zufolge ist bei Körpern dieser Art der eine specifisch elastischer als ein anderer, wenn er bei gleicher Dichtigkeit eine grössere absolute Elasticität, oder, was auf dasselbe hinauskommt, bei geringerer Dichtigkeit dennoch gleiche oder noch grössere absolute Elasticität hat, wie der letztere. Da nun, wie gleichfalls schon erwähnt worden, Dichtigkeit und specifisches Gewicht einander proportional sind, so dass dieses für jene genommen werden kann, so folgt, dass specifische Elasticität und specifisches Gewicht in umgekehrtem Verhältnisse zu einander stehen ([52]). Deshalb fordert die Theorie, dass die Töne der verschiedenen elastisch flüssigen Körper, wie die Quadratwurzeln ihrer specifischen Elasticität, folglich bei gleicher absoluter Elasticität und Temperatur umgekehrt wie die Quadratwurzeln ihrer specifischen Gewichte sich zu einander verhalten. In wie weit die Erfahrung mit dieser Theorie übereinstimme, zeigt folgende Übersicht der Versuche,

---

51) Akust. S. 109. 124.

52) Dieses Verhältniss zieht indess *Benzenberg* (in s. Aufs.: »Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls in verschiedenen Luftarten«, in *Gilbert's* Annalen der Physik Bd. XLII. S. 13.) in Zweifel, indem er annimmt, das specifische Gewicht der elastisch flüssigen Körper hänge ab 1) von dem specifischen Gewichte der kleinsten Theilchen, die ihre Basen ausmachen; 2) von ihrer specifischen Elasticität, welche die Entfernung dieser kleinsten Theilchen von einander bestimme, und zwar von dieser am meisten (s. *Chladni*: N. Beytr. S. 79 f.). Mit dem erstern kann er nichts Anderes sagen wollen, als dass ausser der Quantität der in einem Körper befindlichen kleinsten Theilchen auch ihre Qualität das Gewicht bedinge. Dieses ist aber unrichtig. Denn da die Qualität keinen Einfluss auf die Schwere des Körpers äussert, indem im luftleeren Raume alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fallen, so kann sie auch keinen Einfluss auf das specifische Gewicht desselben haben, weil dieses das Product der Schwere mit der Masse der Theile ist.

welche **Chladni** und **von Jacquin** ([53]), **Kerby** und **Merrick** ([54]), **Benzenberg** ([55]), und **Dulong** ([56]) angestellt haben, indem sie eine offene zinnerne Orgelpfeife nach einander mit je einem solcher flüssigen Körper anfüllten und jeden derselben in einerlei Schwingungsart versetzten. Die Pfeife, welche sie dabei anwandten, gab, mit atmosphärischer Luft angefüllt, $\bar{c}$ ([57]).

Elastisch flüssige Körper.	Verhältniss ihres specifischen Gewichtes zu dem der atmosphärischen Luft ([58]).	Verhältniss ihrer Tonhöhe zu der der atmosphärischen Luft.
Wasserstoffg.	wie 0,0688 zu 1	nach *Chl.* zwischen $\bar{\bar{c}}$ u. $\bar{\bar{e}}$; nach *K.* u. *M.* $\bar{b}$, nahe $\bar{b}$, nahe $\bar{h}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{cis}}$, nahe $\bar{\bar{d}}$; nach *B.* $\bar{\bar{c}}$; nach *D.* etwas tiefer als $\bar{\bar{\bar{h}}}$ (bei 17° C.).
Stickgas	wie 0,9757 zu 1	nach *Chl.* h ([59]); *K.* u. *M.* $\bar{cis}$; *B.* $\bar{c}+\frac{1}{12}$ von einem ganzen Tone (bei einer Temperatur v. 14° R.), $\bar{c}+\frac{1}{24}$ (bei 16° R.).
Sauerstoffgas	wie 1,1026 zu 1	nach *Chl.* zwischen b u. h; *K.* u. *M.* nahe h; *B.* zwischen h u. b; nach *D.* etwas höher als h (bei 21° C.).

53) *Chladni* S. 226 ff. vgl. N. Beytr. S. 79 f. 54) S. *Benzenberg*'s angef. Aufs. in *Gilbert's* Annalen der Physik Bd. XLII. S. 17. 55) Ebend. S. 21—23. 56) S. *Poggendorff*'s Annal. der Phys. u. Chem. Bd. 16. (92.) S. 471. 57) Dass dieses c bei *Benzenberg* u. *Dulong* das ungestrichene, bei *Kerby* und *M.* das eingestrichene, bei *Chladni* und *J.* das zweigestrichene war, macht natürlich in dem Tonverhältnisse keinen Unterschied. Wir nehmen daher für die Versuche aller dieser Experimentatoren das eingestrichene $\bar{c}$ als den Ton der atmosphärischen Luft an, und führen ihre Angaben auf dieses zurück. 58) Dieses Verhältniss des specifischen Gewichtes gebe ich hier bei den 7 ersten nach *Berzelius* und *Dulong*, da deren Angaben, wie *Biot* I. S. 301. selbst bekennt, richtiger sind als die von ihm und *Arago* früher aufgestellten (s. diese I. S. 297. u. *Poggendorff* a. a. O.). Wie die letztern, so weichen auch *Chladni*'s Angaben (S. 228 f.) von den oben angeführten ab. 59) Da dieser tiefere Ton der Theorie gerade entgegengesetzt

Elastisch flüssige Körper.	Verhältniss ihres specifischen Gewichtes zu dem der atmosphärischen Luft.	Verhältniss ihrer Tonhöhe zu der der atmosphärischen Luft.
Kohlensaures Gas	wie 1,5245 zu 1	nach *Chl.* ungefähr gis; *K.* u. *M.* nahe b, nahe a, a, zwischen a u. gis; *B.* a $+ \frac{1}{10}$, a $+ \frac{1}{12}$, a; nach *D.* g (bei 20,5 u. 22° C.).
Stickstoffoxyd- oder Salpetergas	wie 1,527 zu 1	nach *Chl.* ungefähr h; *K.* u. *M.* zwischen h u. b, $\overline{d}$; nach *D.* g (bei 20,5° C.).
Kohlenoxydgas	wie 0,974 zu 1	nach *D.* etwas höher als $\overline{c}$ (bei 15° C.).
Ölbildendes Gas	wie 0,981 zu 1	nach *D.* etwas tiefer als h (bei 16° C.).
Wasserdampf	wie 0,7 zu 1 [60]	nach *B.* $\overline{d} - \frac{1}{8}$ eines Tones, $\overline{d} + \frac{1}{16}$, $\overline{d} - \frac{1}{16}$ (bei 80° R.), $\overline{d} - \frac{1}{6}$, $\overline{d}$ (bei 75° R.) [61]

Anmerkung. Die Verschiedenheit der Töne, welche eine und dieselbe Gasart gab, hat ausser der verschiedenen Temperatur, bei welcher die Versuche angestellt wurden, hauptsächlich in den verschiedenen Graden der Reinheit des Gases ihren Grund, da es aus verschiedenen Körpern entwickelt wurde. — Unter jenen Angaben sind die von Dulong überall die zuverlässigsten. Er selbst bezeichnet die Töne durch die bekannten Silben ut, re, mi u. s. w. auf folgende Weise: Atmosphär. Luft (bei 22° C.) ut 1, Sauerstoffgas + si − 1, Wasserstoffgas — si 3, Kohlensäuregas sol — 1, Kohlenoxydgas + ut 1, Stickstoffoxydgas sol — 1, Ölbildendes Gas — si — 1. Die Original-

---

sein würde, und jene anderen Experimentatoren das Gegentheil fanden, so erklärt *Chladni* N. Beytr. S. 79, dass er das tiefere Tönen einem von ihm nicht beachteten Nebenumstande zuschreiben müsse. 60) So wenigstens nach *von Saussure*, welchem zufolge das specifische Gewicht des Wasserdampfes zu dem der atmosphärischen Luft, bei gleichem Druck und gleicher Wärme, wie 7 zu 10 sich verhält, s. *Benzenberg*'s Aufs.: »Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls in Wasserdämpfen«, in *Gilbert's* Annalen der Physik. Bd. XLII. S. 34. 61) So nach *Benzenberg* a. a. O. S. 32 f. Mit atmosphärischer Luft angeblasen gab die Pfeife, bei 25° R. $\overline{c}$ (oder vielmehr $\overline{\overline{c}}$, so wie beim Was-

Abhandlung, auf deren Übersetzung zuvor verwiesen ist, findet sich in den Annales de chimie et de physique, T. XLI. p. 113 ff. — Jenen Tönen zufolge ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles bei den genannten Gasen folgende bei 0° C.: Atmosph. Luft 333 Meter; Sauerstoffgas 317,17; Wasserstoffgas 1269,5; Kohlensäuregas 261,6; Kohlenoxydgas 337,4; Stickstoffoxydgas 261,9; Ölbildendes Gas 314, s. **Dulong**'s Aufs. in **Poggendorff**'s Annal. d. Phys. u. Chem. Bd. 16. (92.) S. 471.

Nach dieser Erörterung des Einflusses der *innern Qualität* des Körpers auf die Höhe seines Tones gehen wir über zu der Nachweisung des Einflusses

b) seiner *äussern Qualität* d. h. der Qualität seiner *Form*, auf seine Tonhöhe. Diese haben wir zu betrachten

aa) von Seiten der *Ausdehnung*. Diese kommt zwar hauptsächlich erst § 27., wo wir von dem Einflusse der Quantität der Körper auf ihre Tonhöhe reden werden, in Betracht, gehört jedoch in gewisser Hinsicht auch hieher, insofern nämlich, als eine bestimmte Quantität eines gewissen Stoffes auf verschiedene Weise geformt und dadurch ihre Tonhöhe verändert werden kann, so dass Körper, die gleiche Quantität gleichen Stoffes enthalten, in Hinsicht ihrer Töne abweichen, wenn dieser Stoff bei ihnen auf verschiedene Weise gestaltet ist. Die Ausdehnung des Stoffes hat

α) entweder *zwei Dimensionen*: die Länge und Dicke,

β) oder *mehrere Dimensionen*.

Im erstern Falle sind es Fäden, im letztern Flächen. Um wie viel sich die Tonhöhe ändere, wenn von gleichen Mengen eines Stoffes, z. B. von Eisen

---

serdampfe $\bar{\bar{d}}$, welche ich aber der Gleichmässigkeit wegen auf die nächst tiefere Octave zurückgeführt habe). Vgl. *Biot*'s Aufs.: »Versuche über die Erzeugung des Schalls in Dämpfen«, in *Gilbert*'s Annalen d. Phys. Bd. XXXV. S. 425 ff.

oder Messing, durch verschiedene Ausdehnung die eine die Gestalt einer Saite, die andere die einer Fläche erhält, ist bis jetzt, meines Wissens, noch nicht genauer untersucht. So viel aber lässt sich im voraus zuverlässig behaupten, dass, wenn die nämliche Quantität einer Masse einmal als Stab, dann aber zur Saite umgeformt in Schwingung versetzt wird, im letztern Falle tiefere Töne entstehen, als im erstern. — Hat der Körper eine Flächenform, so kommt bei dieser auch die Art der Begrenzung in Betracht. Denn Flächen können bei gleichem Inhalte doch sehr verschieden gestaltet sein, insofern die sie begrenzenden Linien nach Zahl und Gestalt sehr verschieden sein können. Da nun eine solche Verschiedenheit, wie Chladni's Versuche mit Scheiben hinreichend darthun, mehr oder weniger auch auf ihre Schwingungsgestalt Einfluss hat, so wird auch mit der Veränderung dieser letztern, wenigstens in vielen Fällen, zugleich ihr Ton sich ändern. Speciellere Angaben indess über das sich ergebende Tonverhältniss, wenn man z. B. drei Scheiben von ganz gleichem Flächeninhalte, deren eine ein Quadrat, die andere ein Parallelogramm, die dritte ein Dreieck; oder von denen die eine ein Kreis, die andere eine Ellipse, die dritte ein Halbkreis ist, mit einander vergleicht, lassen sich aus Chladni's Schriften, so weit sie mir bekannt sind, nicht entnehmen, da bei seinen Rectangelscheiben (länglichen Rechtecken) die Länge der der Quadratscheiben gleich bleibt, während die Breite sich vermindert, und eben so bei den elliptischen Scheiben, die eine Achse dieselbe ist, wie bei den kreisrunden, während die andere Achse sich verkürzt. — Dass auch bei schwingenden Luftsäulen die Gestalt, welche ihnen durch die sie umschliessenden Körper

gegeben wird, auf den Ton Einfluss hat, erhellet z. B. aus Savart's Beobachtung, dass er, während prismatische und cylindrische Orgelpfeifen ausser ihrem Grundtone noch die unten § 18. genannten Flageolet-Töne geben können, aus einer Kugel mit kleiner Öffnung nur C, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{g}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$, durchaus aber keinen Flageolet-Ton zwischen C und $\bar{\bar{c}}$ erhalten konnte, bei einer kubischen Pfeife aber es fast unmöglich fand, ausser dem Grundtone irgend einen Flageolet-Ton zu erhalten (62).

Anmerkung. Welche schwingenden Körper 2 und welche mehrere Dimensionen haben, welche mithin der einen oder der andern der obigen beiden Classen angehören, ist zum Theil schon früher erwähnt und bedarf im Allgemeinen keiner weitern Erörterung; indessen muss doch, weil es für das nächst Folgende nicht unwichtig ist, die verschiedene Ansicht Chladni's, Savart's und W. Weber's in Betreff der Stäbe und Luftsäulen erwähnt werden, welche der erstere zur ersten, die beiden andern aber zur zweiten Classe rechnen. (S. den Note 62. erwähnten Aufs.) Denkt man an cylindrische Stäbe und Luftsäulen, so reicht man mit 2 Dimensionen aus; denkt man dagegen an prismatische, so fordert allerdings ihre Gestalt, sie zur zweiten Classe zu rechnen, da als dritte Dimension offenbar noch die Breite hinzukommt. Da jedoch diese, so lange sie nicht zu bedeutend wird, keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf den Ton dieser Körper äussert (s. Chladni S. 94 f. 101 f. 154. — Savart: Mémoire sur les Vibrations des corps solides, considerées en général. Section deuxième, in den Annales de chimie et de physique, par Gay-Lussac et Arago. Tome XXV. p. 255.), so hat insofern Chladni's Nichtbeach-

---

62) S. *W. Weber*: Auszug aus den die Theorie des Schalles und Klanges betreffenden Aufsätzen von *Felix Savart*, mit einigen Bemerkungen, in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. der Chemie und Physik Bd. 21. (51.) S. 329. (Die eingeklammerte Zahl des Bandes, 51, bezieht sich auf den ältern Titel dieses Werkes: »Journal für Chemie und Physik«. Diese Zahl finde ich deshalb nöthig hier und in der Folge überall beizufügen, weil dasselbe bald nach dem letztern Titel und der auf demselben stehenden Zahl des Bandes, bald nach dem erstern Titel, den es vom XXX. Bande an zugleich mit jenem Titel verbindet, und der demselben zukommenden Zahl des Bandes angeführt wird.)

tung der Breite keinen Nachtheil, und ich trug daher kein Bedenken, S. 80. Stäbe, Gabeln und Ringe als nur nach Einer Richtung ausgedehnte Körper zu bezeichnen. Handelt es sich aber um die Bezeichnung der bei diesen Körpern während ihrer Schwingungen etwa (nämlich falls sie ihre Flageolet-Töne geben) ruhenden Theile, so ist es keineswegs mehr gleichgültig, zu welcher der obigen beiden Classen man sie rechnet. Chladni redet, seiner Ansicht zufolge, auch bei Stäben und Luftsäulen gerade so, wie bei Saiten, nur von *Schwingungsknoten*, Savart und W. Weber hingegen so wie Dulong (in d. Aufs.: Untersuchungen über die specifische Wärme der elastischen Flüssigkeiten. I. Abtheil., in Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie Bd. 16. (92.) S. 461 ff.) nennen, und zwar, wie der Augenschein lehrt, mit vollem Recht, jene ruhenden Theile bei Stäben *Knotenlinien* und bei Luftsäulen *Knotenflächen*, s. § 16. Note 2. Biot gebraucht bei den Schwingungen der Stäbe sowohl Chladni's, als auch Savart's Benennung der ruhenden Theile, s. II. S. 54—59., bei denen der Luftsäulen aber bloss Chladni's Bezeichnung, s. II. S. 76 ff.

Ausserdem ist die äussere Qualität des schwingenden Körpers zu betrachten

bb) von Seiten der *Richtung*, ob nämlich der Körper

α) eine *gerade* oder *krumme Richtung* habe. Denn ein Stab bringt verschiedene Töne hervor, jenachdem er gerade oder z. B. zu einer Gabel, oder einem Ringe gekrümmt ist. Eben so ist es bei einer Scheibe wichtig, ob sie gerade oder gekrümmt, z. B. zu einer Glocke oder einem Gefässe geformt ist, bei übrigens gleicher Quantität des Stoffes. In welchem Verhältnisse aber die Töne der gekrümmten Formen zu denen der geraden bei diesen Körpern stehen, ist bis jetzt nur bei Stäben erforscht, s. unten § 21. Wir kennen z. B. durch Chladni's Versuche die Veränderungen, welche die Töne eines geraden Stabes dadurch erleiden, dass man ihn zur Gestalt der beiden Schenkel einer Stimmgabel oder zu einem Ringe zusammenbiegt.

Im erstern Falle, nämlich zur Gabel umgestaltet, ist sein Ton, bei der einfachsten (2 Knotenlinien bildenden) Schwingungsart, ungefähr um eine kleine Sexte tiefer, als der tiefste Ton ebendesselben Stabes, wenn er gerade und an beiden Enden frei ist (wo ebenfalls 2 Knotenlinien sich bilden), z. B. c, wenn im letztern Falle der Ton as ist. Schwingt dagegen die Gabel mit 4 oder mehr Knotenlinien, so vermindert sich jene Differenz ihrer Töne und der eines geraden ganz freien Stabes immer mehr. Dagegen findet man, dass die Reihenfolge der Töne einer Gabel von da an, wo sie 4 Knotenlinien bildet, derjenigen eines geraden, an beiden Enden angestemmten Stabes von da an gleicht, wo derselbe mit 2 Knotenlinien schwingt. So gibt z. B. die Gabel bei 4 Knotenlinien $\overline{\overline{\text{gis}}}$, bei 5 $\overline{\overline{\overline{\text{fis}}}}$, ebenso der bezeichnete Stab bei 2 Knotenlinien $\overline{\overline{\text{gis}}}$, bei 3 $\overline{\overline{\overline{\text{fis}}}}$. — Wird dagegen (s. Chladni S. 112 f.) ein gerader Stab in einen Ring zusammengebogen, so erhält man folgende sehr verschiedene Tondifferenzen, jenachdem man die Töne des Ringes mit dieser oder jener Haltung eines geraden Stabes vergleicht. Nach Chladni's Angabe S. 115. würde man, wenn ein Ring, dessen tiefster Ton fis ist, in einen geraden Stab aus einander gebogen und in Transversalschwingungen versetzt würde, nach seinen verschiedenen Haltungen (s. § 20.) folgende Töne als seine tiefsten erhalten: gis, wenn er an beiden Enden frei oder ganz fest; d, wenn ein Ende frei, das andere an einen festen Gegenstand angestemmt; contra C, wenn das eine frei, das andere ganz fest; $\overline{\text{d}}$, wenn das eine ganz fest, das andere nur angestemmt ist; Fis, wenn beide Enden angestemmt sind.

Ferner kommt bei dem hier zu zeigenden Einflusse der Richtung in Betracht

β) ob die Seiten des schwingenden Körpers eine *parallele* oder eine *divergirende* oder *convergirende Richtung* haben, ob er mithin prismatisch oder cylindrisch, oder ob er pyramidalisch oder kegelförmig gestaltet ist. Dass auch dieses auf die Tonhöhe einwirke, leuchtet aus Folgendem ein. Wird eine durchgängig gleich weite, an beiden Enden offene Röhre an einem Ende verschlossen, so ist der Ton der darin schwingenden Luftsäule, bei ihrer einfachsten Schwingungsart, um eine Octave tiefer als der, den sie, an beiden Enden offen, bei ihrer einfachsten Schwingungsart hervorbringt (s. § 18.). Dieses Verhältniss beider Töne findet nicht Statt, wenn die Röhren nicht durchgängig gleich weit, z. B. wenn sie konisch oder pyramidal sind, und wenn die Schwingung vom engeren Ende ausgeht. Alsdann wird der Unterschied der Töne der offenen und gedeckten Pfeife desto grösser, je grösser die von den Wänden gebildeten Winkel sind. Z. B. eine $4\frac{1}{2}$ Zoll lange konische Röhre, an ihrem weiten Ende 2 Zoll dick, am engen Ende 6 Linien dick, gibt offen den Ton $\overline{\overline{c}}$, am weiten Ende verschlossen aber $\overline{c}$. Macht man den Durchmesser des engen Endes noch kleiner, so kann der Ton der am weiten Ende verschlossenen Pfeife mehr als 2 Octaven tiefer werden, als der tiefste Ton der an beiden Enden offenen Pfeife ([63]). — Ausserdem erinnere ich daran, dass, wenn eine divergirende, eine überall gleich weite, und eine convergirende, an beiden Enden offene Pfeife von gleicher Länge

---

63) *W. Weber* a. a. O. Bd. 21. S. 319 f.

sind, eine divergirende etwas höhere, und eine convergirende etwas tiefere Töne gibt, als eine, die überall gleiche Weite hat. Denn die schwingende Luftsäule, welche überhaupt ein wenig länger zu sein scheint, als die Länge der Röhre, worin sie enthalten ist, wird allem Anscheine nach durch Divergenz etwas verkürzt, und durch Convergenz etwas verlängert ([64]), so dass jene Erscheinung, dieser Ursache zufolge, eigentlich zu § 27. gehört, wo der Einfluss der Quantität des schwingenden Körpers auf seine Tonhöhe erörtert wird.

Anmerkung. Hieher gehört auch die Beobachtung, dass das kleine Instrument, dessen sich die Jäger zum Nachahmen der Vogelstimmen bedienen, indem sie es zwischen die Zähne und die Lippen nehmen, tiefere und zugleich weniger helle Töne hervorbringt, wenn die Ränder an der Öffnung einwärts gebogen sind. Denn hieraus erhellet, dass die Richtung jenes Randes auf den Ton Einfluss hat. S. W. Weber: Auszug aus den die Theorie des Schalles und Klanges betreffenden Aufsätzen von Felix Savart, mit einigen Bemerkungen, in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. f. Chem. u. Phys. Bd. 21. (51.) S. 318. vgl. auch Müller: Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 141.

§ 16.

2. *Einfluss der Qualität der Schwingungen des schallenden Körpers auf die graduelle Quantität seines Schalles.*

Die Qualität der Schwingungen wurde Seite 20—34. von 5 Seiten betrachtet. Von diesen gehören folgende als einflussreich auf die Höhe des Schalles hieher:

1) die *Gestalt, welche der schallende Körper bei seinen Schwingungen abwechselnd annimmt,*

---

64) *Chladni* S. 87. — *Baumgartner* S. 251. — *G. Weber*: A. Blasinstrumente, in der Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 328.; vgl. auch *Biot* II. S. 88. Hierauf stützt sich das Verfahren, offene Pfeifen von Blei oder Zinn dadurch zu stimmen, dass man die obere Öffnung mittelst des sogenannten *Stimmhorns* erweitert oder verengert, s. *Biot* II. S. 99 f.

2) die *Richtung, in welcher die Molecule schwingen,*

3) die *Erregungsart der stehenden Schwingung*, ob sie nämlich eine *unmittelbare* oder *mittelbare* ist.

Alle 3 Punkte hängen unter einander so eng zusammen, dass wir sie bei der folgenden Erörterung nicht von einander trennen dürfen.

Bei der *Gestalt*, welche der schallende Körper während seiner Schwingungen abwechselnd annimmt, kommt es zuerst darauf an,

ob er ohne oder mit Schwingungsknoten oder Knotenlinien oder Knotenflächen schwinge.

In beiden Fällen kann seine Schwingungsgestalt eine sehr verschiedene sein. Denn es kann wenigstens bei transversal schwingenden Saiten ihre einfachste Schwingungsart, d. h. die, bei welcher sich keine Schwingungsknoten bilden, auf mehr als Eine Weise erregt werden, nämlich nicht bloss dadurch, dass die Saite in ihrer Mitte aus ihrer Ruhe gezogen oder gestossen und sich dann selbst überlassen wird, sondern dieses kann auch in der Nähe des einen ihrer beiden Befestigungspunkte geschehen. Im erstern Falle bleibt der Gipfel ihrer Ausbeugung stets in der Mitte, im letztern dagegen läuft dieser abwechselnd von dem einen Befestigungspunkte zum andern. Die leztere Schwingungsgestalt ist demnach von der erstern verschieden, ohne jedoch ihre Tonhöhe zu verändern ([1]). Ohne Vergleich mannichfacher aber ist die Zahl der verschiedenen Schwingungsgestalten, welche die Körper bei der Bildung von *Schwingungsknoten* und *Knotenflächen* ([2]), noch mehr aber bei der Bil-

---

1) *H.* u. *W. Weber*: Wellenl. S. 458. 467 f., vgl. oben S. 66 f. 2) Dieser Ausdruck kommt bei *Chladni* nirgends vor, wohl aber findet man ihn in *W. Weber's* § 15. Note 62. erwähnten Auszuge, in *Schweigger's* u. *Schweigger-Seidel's* Jahrb. d. Chem. u. Ph. Bd. 21. (51.) S. 323. und in *Dulong's* Aufs.: Untersuchungen über die specifische Wärme der elastischen Flüssigkeiten. I. Abtheil., in *Poggendorff's* Annalen der Physik u. Chemie Bd. 16. (92.) S. 461 ff. (Da die Bände dieses Werkes zweierlei Zahlen führen, deren eine mit dem Anfang des von *Gilbert* begonnenen Ganzen, die zweite mit dem

dung von *Knotenlinien* [3] annehmen. Denn während bei sich bildenden *Schwingungsknoten* und *Knotenflächen* bloss durch die verschiedene *Zahl* und *Lage* derselben verschiedene Schwingungsgestalten entstehen, wird da, wo *Knotenlinien* sich bilden, die Mannichfaltigkeit dieser Gestalten dadurch bedeutend vermehrt, dass bei den Linien ausser *Zahl* und *Lage* auch ihre *Richtung* und *Gestalt* grosse Verschiedenheit herbeiführt, wie besonders die zahlreichen Abbildungen der Klangfiguren, welche Chladni, ihr Entdecker, auf Glasscheiben hervorgebracht, zeigen [4].

Indem wir diesen für die Klanglehre so höchst wichtigen Gegenstand hier noch ausführlicher erläutern, beginnen wir mit den Körpern, wo bloss Schwingungsknoten sich bilden, deren *Zahl* und *Lage* den Ton bedingen.

§ 17.

Schwingungsarten der Saiten.

Da diese nach zweierlei Richtungen schwingen können, so unterscheiden wir

a) *transversal schwingende.* Dass wir mit diesen Schwingungen beginnen, geschieht bloss deshalb, weil in der Musik nur von dieser Art Gebrauch gemacht wird, und diese insofern die wichtigsten sind. Die Saite schwingt nach dieser Richtung

---

77sten Bande beginnt, und bald nach jener, bald nach dieser angeführt werden, so füge ich, zur Verhütung einer Undeutlichkeit, die dem Bande in der ganzen Folge zukommende Zahl der zweiten eingeklammert bei). Der jenem deutschen Ausdrucke entsprechende französische, dessen sich z. B. *Savart* in s. Aufs.: Recherches sur les Vibrations de l'air, in *Gay-Lussac* et *Arago*: Annales de chimie et de physique Tome XXIV. p. 56. bedient, ist *surface nodale.* Beide Namen bezeichnen die ruhende Luftfläche oder Luftschicht, durch welche 2 schwingende Abtheilungen einer Luftsäule eben so von einander geschieden werden, wie 2 nach entgegengesetzten Richtungen schwingende Theile einer Saite durch einen dazwischen liegenden Schwingungsknoten von einander gesondert werden. Übrigens gebrauchen *Savart* und der seine Beobachtungen berichtende und beurtheilende *W. Weber* bei Luftsäulen auch eben so wie *Chladni* den Namen *Schwingungsknoten*, um dergleichen ruhende Theile zu bezeichnen, s. z. B. *Schweigger's* Jahrb. d. Chem. u. Ph. Bd. 14. (44.) S. 422. 3) Über die Ausdrücke *Schwingungsknoten* u. *Knotenlinie* vgl. oben S. 21. 4) S. Akust. Tab. IV — X. und N. Beytr. Tab. I — IV.

aa) entweder *ohne Schwingungsknoten.* Dieses ist der Fall, wenn ihre stehende Schwingung *unmittelbar* erzeugt wird (s. Seite 23.). Die Saite gibt dann stets ihren *Grundton*, d. h. den tiefsten, dessen sie überhaupt fähig ist. Dieser kann *zweifach* sein, s. § 18. Anm. 2.

Anmerkung. Es muss hier eine Beobachtung erwähnt werden, die zuerst der Leibarzt Hellwag in Eutin gemacht hat, weil sie, unrichtig aufgefasst, scheinbar beweisen könnte, dass der Ton einer Saite, den wir so eben ihren tiefsten und daher ihren Grundton genannt haben, nicht ihr tiefster sei, sondern noch tiefere unter sich habe. Setzt man nämlich einer Saite einen Steg so unter, dass sie nicht fest aufliegt, sondern ihn nur äusserst schwach berührt, und reisst sie so, dass sie senkrecht auf diesen Steg aufschlägt, so hört man einen Ton, der um eine Quinte tiefer ist, als der sogenannte Grundton der Saite. Er hat aber einige Beimischung des den beiden Hälften derselben zukommenden Tones, der um eine Octave höher ist, als jener Grundton, und geht zuletzt in diesen Ton, der um eine Octave und Quinte höher, als er selbst ist, über. Chladni, durch Hellwag's Mittheilung veranlasst, setzte diese Beobachtungen fort, und fand, dass, wenn jener Steg so untergesetzt wird, dass er die Saite in 2 Theile theilt, die $\frac{2}{3}$ und $\frac{1}{3}$ betragen, der dann vernehmbare Ton um einen halben Ton höher ist, als im vorigen Falle und zu dem Grundtone der Saite wie $\frac{18}{25}$ zu 1 sich zu verhalten scheint. Wird der Steg so untergesetzt, dass die Theile der Saite $\frac{1}{3}$ und $\frac{2}{3}$ betragen, so ist der Ton um eine grosse None tiefer, als ihr Grundton und verhält sich zu diesem wie $\frac{4}{9}$ zu 1. Die beiden letztern Töne sind weit undeutlicher, als der erstere. Mit allen ist ein Klirren oder Schnarren verbunden, weshalb sie Chladni S. 74 f., wo er diese Beobachtungen mittheilt, mit Recht *Klirr-* oder *Schnarrtöne* nennt. Ganz mit Unrecht behauptet Nörrenberg in s. Aufs.: Über den von Chladni sogenannten Klirrton, in Poggendorff's Annalen d. Phys. u. Chem. Bd. 9. (85.) S. 488., Chladni habe den zuerst erwähnten Ton um eine Octave zu tief geschätzt und daher auch unrichtig erklärt, er sei vielmehr eine Quarte höher, als der Grundton, z. B. wenn dieser d sei, so sei der Klirrton nicht G, sondern g. Dass diese Behauptung, vorausgesetzt, dass man so wie Hellwag und Chladni

verfährt, falsch sei, und diese beiden vielmehr ganz richtig beobachtet haben, davon kann sich Jeder mit Hülfe eines Monochords, dem er auf die beschriebene Weise einen Steg untersetzt, leicht überzeugen. Ebenso wird man auch, gegen Nörrenberg, welcher der Saite selbst jenen Ton zuschreibt, mit Chladni (a. a. O. S. 74. u. in s. Aufs.: »Über Töne bloss durch schnell auf einander folgende Stösse, ohne einen klingenden Körper«, in Poggendorff's Annalen d. Phys. u. Ch. Bd. 8. (84.) S. 457.) annehmen, dass er durch das Anschlagen der Saite an den Steg bewirkt wird, welche Schläge man als einen eigenen Ton vernimmt (vgl. § 45.), welcher deshalb um eine Quinte tiefer als der Grundton der Saite ist, weil die Zahl jener Schläge und die Zeit, in welcher sie wiederkehren, in demselben Verhältnisse zu der Zahl und der Zeit der Schwingungen des Grundtones der Saite stehen, wie es zwischen 2 Saiten Statt findet, deren eine um eine Quinte tiefer als die andere tönt. Chladni beweist dieses in d. Akust. S. 74 f. folgendermassen. Ist die in die Höhe gezogene Saite losgelassen und auf den Steg aufgeschlagen, so theilt sie sich in 2 Hälften, deren jede bis zu ihrer grössten Beugung eine Schwingung macht, die als $\frac{1}{4}$ einer ganzen Schwingung der ganzen Saite zu betrachten ist. Folglich beträgt auch ihr Rückgang von jener grössten Beugung bis zu der geraden Linie, welche die Saite im ruhigen Zustande bildet, abermals $\frac{1}{4}$. Von da an beugt sich die ganze Saite ungetheilt nach der entgegengesetzten Richtung. Diese Beugung beträgt, wenn sie ihren höchsten Punkt erreicht hat, $\frac{1}{2}$ der ganzen Schwingung. Ebenso beträgt ihr Rückgang bis dahin, wo sie abermals auf den Steg aufschlägt, $\frac{1}{2}$ einer ganzen Schwingung. Folglich macht die Saite zwischen je 2 solchen auf einander folgenden Schlägen $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$ Schwingungen, so dass sich die Zahl der Schläge zu der der Schwingungen wie $1 : \frac{3}{2}$ oder, was auf dasselbe Verhältniss hinausläuft, wie $\frac{2}{3} : 1$ verhält, ein Verhältniss, was völlig dem zweier Töne gleicht, deren erster um eine Quinte tiefer ist, als der andere. Zu fast demselben Resultate kann man aber auch auf einem andern Wege gelangen, der vielleicht Manchem noch deutlicher ist, nämlich mittelst der absoluten Schwingungszahlen. Nehmen wir an, die Saite mache, wenn sie ihren Grundton gibt, 48 Schwingungen, wobei sie ungehindert und ganz, ohne Schwingungsknoten, sich bewegt. Durch den untergesetzten Steg wird sie, von dem Momente an, wo sie ihn berührt, bis zu dem, wo sie ihn wieder

verlässt, in 2 Hälften getheilt; von dem Moment an aber, wo sie den Steg verlässt, nach der entgegengesetzten Seite schwingend, bis zu dem Moment, wo sie den Steg abermals berührt, schwingt sie ganz, ohne Schwingungsknoten. Ihre Schwingungen sind demnach abwechselnd Total- und Hälften-Schwingungen. Da nun die Schwingungszeit, in welcher jede Hälfte einer in 2 Theile sich eintheilenden Saite schwingt, genau die Hälfte beträgt von der, welche dieselbe Saite gebraucht, wenn sie ungetheilt schwingt (vgl. § 37.), so würde die Saite in derselben Zeit, in welcher sie 48 Totalschwingungen macht, 96 Hälftenschwingungen machen. Demnach macht eine Saite, bei welcher beiderlei Schwingungen, auf Veranlassung des Steges, gleichmässig mit einander abwechseln, in derselben Zeit $\frac{48 + 96}{2} = 72$ Schwingungen. Da nun zwischen je 2 auf einander folgenden Schlägen 2 solche Schwingungen von der Saite gemacht werden, so geschehen während 72 solcher Schwingungen zusammen 36 Schläge. Der durch diese letztern erzeugte Ton würde um eine verminderte Quinte tiefer sein, als der durch 48 Totalschwingungen erzeugte Grundton.

bb) Oder die Saite schwingt mit *Schwingungsknoten*. Wird die stehende Schwingung einer Saite *mittelbar* durch eine zunächst erregte fortschreitende Schwingung bewirkt (s. Seite 24.), oder die schwingende Saite an einer Stelle leise berührt, so theilt sie sich in eine von der besondern Art dieser Erregungs- oder Berührungsweise abhängige Zahl gleicher (aliquoter) Theile ein, von denen stets je 2 durch einen Schwingungsknoten getrennte Theile nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, wie dieses bei jeder Art der Schwingungsrichtungen von 2 solchen Theilen gilt. Jeder dieser Theile schwingt so, als ob er eine eigene Saite wäre. Deshalb bestimmt die Grösse eines jeden solchen Theiles den Ton der ganzen Saite, welchen sie unter diesen Umständen hervorbringt. Daher ist, wenn sie sich bei ihren Schwingungen in 2 gleiche Theile theilt, der Ton derselbe, wie ihn eine halb so lange ohne

Schwingungsknoten schwingende Saite hervorbringen würde, nämlich die Octave des bei aa) zu Anfang genannten Grundtones. Theilt sie sich in 3 gleiche Theile, so ist der Ton gleich dem Grundtone einer einem solchen Drittheil gleichenden Saite, mithin die Quinte jener eben erwähnten höhern Octave (vgl. § 38.). Bezeichnet man diese und die bei fortschreitender Zahl der aliquoten Theile sich ergebenden Töne (deshalb *Theiltöne*, *Partial-*, *Aliquot-Töne* genannt, s. Seite 24.) nicht nach der Zahl der diese Theile trennenden Schwingungsknoten, sondern nach der Zahl dieser aliquoten Theile, und den durch die einfachste Schwingung erzeugten Grundton, bei der die ganze Saite ohne Schwingungsknoten schwingt, durch 1, so kommt die Folge der Töne mit der natürlichen Zahlenreihe überein. Ist der Grundton der Saite, den wir = 1 setzen, C, so gibt eben diese Saite, wenn sie sich in 2, 3 u. s. w. gleiche Theile bei ihren Schwingungen eintheilt, folgende Töne:

1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10,	11,	12	13,
C,	c,	g,	$\bar{c}$,	$\bar{e}$,	$\bar{g}$,	$\bar{b}$—,	$\bar{\bar{c}}$,	$\bar{\bar{d}}$,	$\bar{\bar{e}}$,	$\bar{\bar{f}}$+,	$\bar{\bar{g}}$,	$\bar{\bar{a}}$—,

14,	15,	16
$\bar{\bar{b}}$—,	$\bar{\bar{h}}$,	$\bar{\bar{\bar{c}}}$ u. s. w. (1)

So weit gibt Chladni S. 67. diese Reihe an; *G. Weber* (2) dagegen setzt sie noch bis 32 folgendermassen fort:

17,	18,	19,	20,	21,	22,	23,	24,	25,
$\bar{\bar{\bar{c}}}$is, $\bar{\bar{\bar{d}}}$es,	$\bar{\bar{\bar{d}}}$,	$\bar{\bar{\bar{d}}}$is, $\bar{\bar{\bar{e}}}$s,	$\bar{\bar{\bar{e}}}$,	.,	$\bar{\bar{\bar{f}}}$+,	.,	$\bar{\bar{\bar{g}}}$,	$\bar{\bar{\bar{g}}}$is, $\bar{\bar{\bar{a}}}$s

26,	27,	28,	29,	30,	31,	32,
$\bar{\bar{\bar{a}}}$—,	.,	$\bar{\bar{\bar{a}}}$is—, $\bar{\bar{\bar{b}}}$—,	.,	$\bar{\bar{\bar{h}}}$,	.,	$\bar{\bar{\bar{c}}}$ u. s. w.

Vergleicht man diese von **Chladni** und **G. Weber** aufgestellte Tonreihe mit der **Biot's**, welche § 18. bei den Schwingungen der Luftsäulen aufgestellt wird, so findet man mehrere Verschiedenheiten. Einige derselben sind nur scheinbar, alle die nämlich, wo ein Ton, der zwischen einen Ton der diatonischen Tonleiter und seine chromatische Erhöhung oder Erniedrigung (s. § 36.) z. B. zwischen f und fis, oder zwischen a und as fällt, hier durch f+, unten durch fis—; oder hier durch a—, unten durch as+ bezeichnet wird. Andere Verschiedenheiten beruhen darauf, dass **G. Weber** sich an die gebräuchliche 12-stufige Temperatur hielt (s. § 46.) und deshalb nicht cis und des, dis und es, gis und as, aïs und b unterschied, **Biot** hingegen die reinen Tonverhältnisse ins Auge fasste, und daher cis und des u. s. w. als verschiedene Töne betrachtete (s. § 36.). Dadurch war es ihm zugleich möglich, auch die den Zahlen 21. 23. 27. 29. 31. (oder, bei den Luftsäulen, vielmehr die den Quadraten dieser Zahlen) entsprechenden Töne anzugeben, deren Stellen hier aus dem angegebenen Grunde leer geblieben sind. Hieraus erkennt Jeder von selbst, welche Angaben, mathematisch betrachtet, die genauern sind. Dass ich dem Leser beiderlei Angaben zur eigenen Vergleichung vorgeführt habe, wird mir hoffentlich nicht zum Vorwurf gemacht werden. Nur das Eine bemerke ich noch, dass man sich bei der Vergleichung jener mit der unten angeführten **Biot**'schen Reihe zuvor die beiden Reihen a und b, in welche ich dieselbe zertheilt habe, in

---

1) Das dem Tonzeichen beigefügte — zeigt an, dass der bezeichnete Ton etwas tiefer, + aber, dass er etwas höher sei als der dem Tonzeichen genau entsprechende Ton.
2) A. Beitöne, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Theil VIII. S. 380.

Eine fortlaufende Reihe verwandeln muss, indem man sich die Linie, welche die Reihen a und b von einander scheidet, hinwegdenkt.

Anmerkung. Bekanntlich wird in der Musik von den Tönen, die den Zahlen 7, 11, 13, 14 u. m. a. entsprechen, kein Gebrauch gemacht. Indessen haben sich doch Einige bemüht, wenigstens den der Zahl 7 entsprechenden Ton in dieselbe einzuführen. Unter den ältern Musiklehrern hat Archytas mit dieser Zahl gespielt, wie auch Ptolemäus in einer seiner Angaben einer diatonischen Tonreihe. Unter den Neuern haben Tartini, Jamard und L. Euler die Einführung dieser Zahl gewünscht, besonders aber hat Kirnberger in seiner »*Kunst des reinen Satzes*« S. 24 ff. sie in Schutz genommen, und den mit dieser Zahl übereinkommenden Ton *i* genannt. Er hat auch sogar in der Orgel einer Kirche zu Berlin ein Mixturregister angebracht, worin für jeden Ton auch das *i* enthalten war. Diesen Bemühungen haben sich Andere mit Recht widerstezt (s. Chladni's Aufs.: über das *i*, oder über den mit der Zahl 7 übereinkommenden Ton, nebst G. Weber's Vorwort, in der Cäcilia Bd. IX. Heft 35. S. 171 ff.).

Von den bisher erläuterten *transversal schwingenden* Saiten haben wir, wie schon Seite 30 ff. erwähnt ist, zu unterscheiden:

b) *longitudinal schwingende.* Auch hier verhält sich die Folge der Töne wie die natürliche Zahlenfolge 1, 2, 3, 4 u. s. w. Die so schwingende Saite gibt nämlich, wenn sie ohne Schwingungsknoten schwingt, den tiefsten Ton, den sie bei dieser Schwingungsart geben kann; beim Eintreten von Schwingungsknoten aber erhöht sich in demselben Verhältniss, wie deren Zahl steigt und die durch sie getrennten Theile sich verkleinern, ihr Ton, weil dieser auch hier, wie bei den Transversaltönen, im umgekehrten Verhältniss mit der Länge der Saite, und, bei ihren Theiltönen, mit der Länge jedes ihrer Theile steht (vgl. § 38.). Obgleich nun aber die Longitudinaltöne unter einander in

eben solchen Verhältnissen stehen, wie zuvor bei den Transversaltönen gezeigt worden, so sind doch jene Töne selbst von den letztern ganz verschieden, da sie bedeutend höher sind ([3]).

Was die Schwingungsrichtung zweier durch einen Schwingungsknoten getrennten Theile betrifft, so gilt von diesen Longitudinalschwingungen bei den Saiten sowohl, als bei allen übrigen Körpern, die so zu schwingen vermögen, dasselbe, was oben Seite 109. von den Schwingungsrichtungen zweier solcher Theile bei den Transversalschwingungen gesagt ist, dass nämlich *die Richtungen, in welchen beide Theile schwingen, stets einander entgegengesetzt sind.* — Nach Poisson können an einer gespannten Saite, wie an einem elastischen Stabe, Longitudinal- und Transver-

---

3) S. oben S. 31 f. Zu den dort angeführten Stellen füge ich hier noch folgende besonders wichtige: *W. Weber*: über *Savart's* Klangversuche in *Schweigger's* u. *Schweigger-Seidel's* Jahrb. d. Chem. u. Ph. Bd. 15. (45.) S. 283 f., wo dieser berühmte Akustiker sowohl die grosse Verschiedenheit der Geschwindigkeit einer primären (longitudinalen) Schallwelle von der einer secundären (transversalen) in gleicher Zeit und bei gleicher Spannung der Saite zeigt, als auch die Ursache nachweist, warum *Chladni* sonst gar keinen Einfluss der Spannung auf die Longitudinal-Töne wahrnahm. Der Letztere spannte nämlich bei der Untersuchung dieses Einflusses die Saite nicht so locker, als es nöthig ist, um durch stärkere Spannung eine beträchtliche Änderung des Tones zu bewirken; denn ist sie bereits nur irgend beträchtlich gespannt, so vermag auch die Anwendung der grössten Kräfte nur eine geringe Veränderung des Tones hervorzubringen. Eine gleiche Bewandtniss, wie mit *Chladni's*, muss es mit *Poisson's* Versuchen haben, da er in s. Traité de mécanique. Tome II. (2. edit.) p. 314. sagt: Le nombre des vibrations longitudinales et le ton de la corde qu'il détermine, ne dépendent pas de sa tension; cependant l'observation indique que le ton longitudinal s'élève un peu quand la tension augmente; circonstance qu'on peut attribuer à ce que la longueur de la corde, comprise entre les points A et B, restant la même, son poids diminue quand on l'étend davantage. Eine Stahlsaite, die durch 6 Pfund gespannt, den Ton E gibt, bringt, wenn sie durch 36 Pfund gespannt wird, den Ton H hervor. Bei der erstern Spannung beträgt die Geschwindigkeit der primären (longitudinalen) Welle in einer Secunde 10160 Fuss, bei der letztern Spannung 15240 Fuss, während die Geschwindigkeit einer secundären (transversalen) Welle bei der erstern Spannung in einer Sec. nur 303⅓ Fuss, bei der letztern Spannung nur 743 Fuss beträgt. — *Biot* sagt II. S. 31 f., dass die Töne der longitudinalen Schwingungen der Saiten ohne Vergleich höher, als die der transversalen seien, rühre daher, dass die eigenthümliche Spannkraft des Stoffes, welche die Theilchen zu der ursprünglichen Lage ihres Gleichgewichts zurückzuführen strebe, weit kräftiger sei, als bei der transversalen Schwingung die durch ein Gewicht hervorgebrachte Spannung.

salschwingungen gleichzeitig Statt finden, und deren Töne eben so gleichzeitig vernommen und von einander unterschieden werden, wie bei einer transversal schwingenden, ihren Grundton gebenden, Saite die zugleich von ihr hervorgebrachten höhern harmonischen Töne neben dem Grundtone vernehmbar sind (4).

Anmerkung 1. Schon S. 44. Note 25. haben wir erwähnt, dass Pellisov die sonderbare Meinung hegt, die Saite habe man nicht als *selbsttönenden*, sondern bloss als *tonerregenden* Körper zu betrachten, weil sie ohne den sogenannten Resonanzboden gar keinen Ton von sich gebe, der *selbsttönende* sei vielmehr das Instrument, aus welchem die Saite den Ton hervorlocke. Diesen Satz stellt er in s. Berichtigung eines Fundamentalsatzes der Akustik S. 14. ohne alle Beschränkung auf. In s. Aufs.: Über Schall, Ton, Knall u. s. w. sagt er S. 7 f. »Es fügt sich sehr oft, dass die *tönenden* und *tonerregenden Schwingungen* in einem einzigen elastischen Körper zugleich vorhanden sind, wie dies bei *Glocken*, bei mittelst eines Metallhammers angeschlagenen, sehr laut tönenden *Stäben*, bei *longitudinal* schwingenden *Saiten* u. s. w. der Fall ist; und hieraus erklärt sich sogleich der Grund, warum longitudinal schwingende Saiten so ungemein laut tönen, während die Transversalschwingungen derselben kaum vernehmbar sind und nur insofern, als ihre Masse selbst dabei mit ins Spiel geräth und einige, nicht hinlänglich aufzuhebende, sogenannte Resonanz der Körper, an denen sie befestigt sind, einen schwachen Ton erzeugen«. Hiernach möge nun Jeder selbst den obigen allgemein ausgesprochenen Satz zuvörderst beschränken, und sehen, ob er, auch nach dieser Beschränkung, irgend haltbar sei. (Wer statt des besondern Abdruckes dieser beiden Aufsätze, deren vollständige Titel S. 4. angegeben sind, *Schweigger-Seidel's* Neues Jahrbuch der Chem. und Phys. leichter zur Hand hat, der findet den erstern Bd. 7. (Bd. 67. der ganzen Folge). 1833. S. 169 — 185.

---

4) Er sagt nämlich a. a. O. Tome II. (2. edit.) pag. 445., nachdem er von den mit dem Grundtone zugleich vernehmbaren Beitönen einer Saite gesprochen: »C'est aussi pour cela que l'on entend distinctement les sons produits par les vibrations longitudinales et par les vibrations transversales, qui ont lieu à la fois dans une même corde tendue, ou dans une même verge élastique«. Vgl. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 295.

227—249. und die angeführte Stelle S. 182., den letztern Bd. 9. (Bd. 69. der ganzen Folge). Heft 6.)

Anmerkung 2. Wir haben bereits S. 25 ff. ausführlicher davon geredet, dass eine transversal schwingende, ihren Grundton gebende Saite mit demselben zugleich höhere harmonische Töne schwach mitklingen lassen könne. Nach Fischer (in s. Abh.: über die Grundlehren der Akustik, in den Abh. der Berl. Akad. d. Wissensch. a. d. J. 1824. Phys. Cl. S. 88.) geschieht dieses nie, wenn der Ton durch Streichen mit dem Bogen erregt wird. Nach v. Dalberg erscheinen dergleichen mitklingende Töne nur bei Metallsaiten, nicht aber bei andern Saiten (s. S. 26. Note 32.). Nach Biot (II. S. 25.), Baumgartner (S. 256.) u. G. Weber (A. Beitöne, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. VIII. S. 380.) findet keine dieser Beschränkungen Statt.

Anmerkung 3. So gewöhnlich auch die Annahme ist, dass bei schwingenden Saiten nur *Schwingungsknoten* sich bilden können, und auch hier ohne Bedenken überall gleichfalls ausgesprochen ist, da dieses unserem Zwecke genügte, so muss doch, um keine wichtige Entdeckung ausser Acht zu lassen, erwähnt werden, dass auch bei Saiten, jedoch nur, wenn sie longitudinal schwingen, eine *Knotenlinie* sich bildet, wie Savart auf folgende Weise dargethan hat, deren genauere Angabe ich hier aus W. Weber's »Auszug aus den die Theorie des Schalles und Klanges betreffenden Aufsätzen von Felix Savart, mit einigen Bemerkungen über scheinbare Widersprüche zwischen Savart's Entdeckungen und Chladni's früheren Arbeiten, und anderen Zusätzen«, in Schweigger's Jahrbuch der Chemie und Phys. Bd. 14. (44.) S. 400—402. entlehne. Er spannt eine dünne Darmsaite zwischen zwei auf einer sehr dicken Holzleiste befestigte Körper, deren einer ein kleiner (etwa stählerner) Stab, der sich in einer auf die Saite senkrechten Lage befindet, der andere ein Wirbel ist, der um sich selbst gedreht werden kann, um die Spannung der Saite zu verringern oder zu vergrössern. Das an diesen Wirbel gehende Ende der Saite läuft unmittelbar vor demselben über einen kleinen Steg. Jenen Stab bringt er mittelst eines genau mit der Saite parallel gehaltenen Violinbogens in transversale Erzitterung, worauf sich die Bewegung der an dem untern Theile des Stabes befestigten Saite mittheilt, die dann longitudinale Schwingungen macht. Hängt man längs der Saite mehrere kleine Papierringe an, so bewegt

8*

sich, sobald der Ton hervorgebracht wird, jeder derselben sehr geschwind zu dem ihm nächsten Schwingungsknoten. Kehrt man den Apparat um, so dass die Saite, welche ihre horizontale Lage behält, zu unten zu liegen kommt, lässt aber die Papierringe an den früher von ihnen eingenommenen Stellen, so entfernen sich, sobald man die Saite auf die nämliche Weise in Schwingung versetzt, die Ringe von diesen Stellen, und stehen erst still, wenn sie ungefähr sich in der Mitte der Zwischenräume befinden, welche je 2 ruhende Punkte der zuerst geprüften Seite trennen. Drehet man allmälig die verschiedenen Seiten der Saite nach oben, so erkennt man, dass die ruhenden Punkte eine zusammenhängende Linie bilden, die sich schlangenförmig um die Saite windet.

Anmerkung 4. W. Weber sagt in dem zweiten Abschnitte des eben erwähnten Aufs. in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. 15. (45.) S. 284 f.: »Chladni hat in seiner Akustik zuerst nachgewiesen, dass jeder feste Körper auf dreierlei verschiedene Weise selbsttönen könne, so dass ein und derselbe Körper (z. B. eine hinlänglich lange Saite oder Glasröhre) bei derselben Spannung, und wenn er ungetheilt schwingt, drei Töne von verschiedener Höhe hervorbringen könne. Er nannte die drei Schwingungsarten die *longitudinale*, *transversale* und *drehende*«. Demnach würde auch bei *Saiten* eine *drehende* Schwingung Statt finden können. Allein in s. (deutschen) Akustik S. 65. sagt Chladni ausdrücklich: »*Drehende Schwingungen* habe ich nur an *Stäben* bemerkt«, ohne diesen Ausspruch in irgend einem mir bekannten Nachtrage abzuändern.

Auf diese Körper, die, wenigstens nach der gewöhnlichen Annahme, bloss *Schwingungsknoten* zeigen, würde es einerseits am natürlichsten sein, zunächst diejenigen folgen zu lassen, wo *Knotenlinien* sich bilden, und auf diese endlich die, wo *Knotenflächen* entstehen, weil man vom Punkte am natürlichsten zur Linie, und von dieser zur Fläche übergeht; allein aus einem andern, wie uns scheint, überwiegenden Grunde weichen wir von dieser Reihenfolge hier ab, und gehen zunächst zu den

§ 18.

Schwingungsarten der Luftsäulen.

über, weil bei den *Knotenflächen*, welche bei diesen entstehen können, gerade so wie bei den *Schwingungsknoten*, nur *Zahl* und *Lage* in Betracht kommen, mithin von dieser Seite jene an diese am schicklichsten sich anschliessen. Auch könnte schon die bei diesen schwingenden Körpern, namentlich im Vergleich mit den Stäben, Statt findende grössere Einfachheit uns bewegen, dieselben den letztern vorangehen zu lassen. Denn während bei den Stäben dreierlei *Richtungen* der Schwingung möglich sind, findet bei den Luftsäulen nur die *longitudinale* Statt, bei der die schwingenden Theilchen in der Richtung der Länge abwechselnd sich verdichten und verdünnen; und während wir ferner bei den Transversalschwingungen der Stäbe 5 Arten der *Haltung*, bei ihren hier zunächst zu vergleichenden Longitudinalschwingungen 3 Arten der Haltung unterscheiden müssen (s. unten), sind bei den Luftsäulen, bei denen an die Stelle der *Haltung* die *Begrenzung* tritt, nur 2 Arten dieser letztern möglich. Eine Luftsäule ist nämlich

a) entweder *an beiden Enden von der Luft begrenzt, indem die Röhre, in welcher sie schwingt, an beiden Enden offen ist* ([1]);

b) oder nur *an einem Ende von der Luft, am andern aber von einem festen Körper begrenzt, weil jene Röhre nur an einem Ende offen, am andern verschlossen ist*, und zwar

aa) entweder *theilweise verschlossen*, wobei wieder 2

---

1) Hieher gehören alle Arten von Blasinstrumenten, die mit dem Munde angeblasen werden, und von den Orgelpfeifen die offenen Kern- oder Labialpfeifen und die Zungenpfeifen, von welchen letztern wir jedoch wegen der mit der Luftsäule zugleich schwingenden Zunge weiter unten noch besonders reden werden. Vgl. *Chladni* S. 86. — *G. Weber*: A. Blasinstrumente, in der Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 381. — *Naue*: A. Orgel, ebend. Sect. III. Th. V. S. 168 ff.

Fälle zu unterscheiden sind, indem diese Art der Verschliessung

α) entweder *permanent* ist. Hieher gehören

αα) die *halbgedeckten* Kern- oder Labialpfeifen, bei denen entweder durch den das obere Ende verschliessenden Deckel ein kleines offenes Röhrchen geht, wodurch die innere Luftsäule mit der äussern Luft in Verbindung gesetzt wird, oder bei denen dieser Deckel nach einer Seite zu in der Form eines halben Mondes, oder in anderer Form aufgeschnitten ist. Die Luftsäulen dieser Pfeifen schwingen in der Hauptsache nach denselben Gesetzen, wie die ganz gedeckten, von deren Schwingungsarten sogleich die Rede sein wird ([2]). Ausserdem gehört hieher

ββ) die Methode, eine offene Orgelpfeife durch veränderte Neigung einer dünnen bleiernen Platte, welche in einer gegen die Achse der Pfeife geneigten Richtung auf die obere Öffnung derselben aufgesetzt ist, zu stimmen, indem durch die Herabbiegung dieser Platte jenes Ende theilweise permanent gedeckt, und dadurch der Ton der Pfeife tiefer gemacht wird ([3]);

β) oder *momentan*. So bei dem Verengen der Mündung des zweiten Endes einer Röhre durch Einbringen der Hand. Dieses Verfahren, welches man *Stopfen* nennt, wird bei dem Waldhorn, zuweilen auch bei der Trompete, angewandt, um den Ton zu erniedrigen, was jedoch hier nicht wohl um mehr als eine grosse diatonische Stufe (vgl. § 36.) erreicht werden kann, wobei die Töne

---

2) Zu diesen halbgedeckten Pfeifen werden gezählt die *Rohrflöte*, *Nassat*, *Nachthorn*, *Flûte douce*, s. *Naue* a. a. O. S. 176., vgl. auch *Biot* II. S. 97. 3) *Baumgartner* S. 253. — *Biot* II. S. 99.

zugleich matter und dumpfer werden ([4]). Auch hat man Trompeten, die man Maschinentrompeten nennt, wo die Verengerung der Mündung, statt mit der Hand, durch eine künstliche Vorrichtung bewirkt wird ([5]);

bb) oder *völlig verschlossen.* Eine solche Verschliessung ist

α) entweder *permanent.* Diese findet Statt bei den ganz gedeckten Kern- oder Labialpfeifen der Orgel, deren eines Ende durch einen Deckel ganz verschlossen ist ([6]);

β) oder *momentan*, indem sie durch die vor das eine Ende dicht angedrückte flache Hand bewirkt wird (welchen Act man nicht mit dem zuvor erwähnten Stopfen verwechseln darf). Die Wirkung beider Verfahrungsweisen ist die nämliche, wie Chladni's Versuch bei einer Orgelpfeife, deren Luftsäule durch brennendes Wasserstoffgas in Schwingung versetzt war, gezeigt hat ([7]).

Eine dritte Art der Begrenzung, wo an beiden Enden feste Körper die Grenze bildeten, ist wenigstens so lange unmöglich, als uns die Mittel fehlen, eine Luftsäule in Schwingung zu versetzen, die in einer völlig verschlossenen Röhre sich befindet.

Demnach zerfallen alle gebräuchlichen Blasinstrumente (mit Inbegriff der Orgelpfeifen) in die 3 Classen: *offene, halb gedeckte, ganz gedeckte*, oder, wie man auch sagt, *ganz offene, halb offene* und *gedeckte.* Diese Eintheilung bezieht sich jedoch bloss

---

4) *G. Weber*: A. Blasinstrumente, a. a. O. S. 328 f., vgl. *Koch*: mus. Lex. A. Horn S. 763 f., A. Trompete S. 1606. 5) *Chladni* S. 88. 6) Über die verschiedenen Arten dieser ganz gedeckten Pfeifen s. *Naue* a. a. O. S. 176. 7) Akust. S. 93, vgl. auch *G. Weber*: A. Blasinstrumente, a. a. O. S. 328.

auf das Ende, welches dem, wo das Instrument angeblasen wird, entgegengesetzt ist, nicht aber zugleich auf dieses letztere, bei welchem das Anblasen geschieht. Denn dieses ist *stets nur theilweise offen*, oder, was auf dasselbe hinausläuft, *theilweise gedeckt*, indem die Öffnung, durch welche die Luftsäule der Röhre in Schwingung versetzt wird, nie die Weite der ganzen Röhre hat. Von Seiten dieses Endes aber sind dreierlei Fälle zu unterscheiden.

1) *das Ende selbst ist theilweise offen*;

2) *das Ende selbst ist ganz verschlossen, eine dabei befindliche Seitenöffnung aber vertritt die Stelle seiner theilweisen Öffnung*;

3) *das Ende selbst ist theilweise offen und ausserdem noch nahe bei ihm eine Seitenöffnung vorhanden.*

Das Erste findet bei allen mit dem Munde anzublasenden Instrumenten, mit Ausnahme der Querflöte und einiger andern, dem dritten Falle angehörenden; ferner bei den Zungenpfeifen der Orgel und denjenigen sonst gebräuchlichen, ganz gedeckten Kernpfeifen Statt, welche keine weitere Öffnung hatten, als ein im Fusse befindliches kleines, rundes Loch, woran ein Röhrchen gefügt war, durch welches die innere Luftsäule mit der äussern Luft in Verbindung gesetzt und angeblasen wurde. Da aber der Ton dieser letzten zu schwach, ihr Bau auch nur im Discant ausführbar war, so sind sie ausser Gebrauch gekommen. Es gehört hieher das Register, welches man unter dem Namen *Piffara* erwähnt findet (8). — Das Zweite tritt bei der Quer-

8) *Naue* a. a. O. S. 169. 177.

flöte ein. — Das Dritte endlich sieht man bei einigen mit dem Munde anzublasenden Instrumenten und bei allen Kernpfeifen der Orgel, mit Ausnahme der zuvor erwähnten. Diese bestehen bekanntlich aus 2 verschiedenen Theilen: a) dem Körper, welcher die schwingende Luftsäule enthält, b) dem, durch welchen die die Schwingungen erregende Luft eindringt. Der erstere heisst der *Körper*, der zweite der *Stiefel* oder *Fuss* der Pfeife. An dem obern Ende des letztern, der an seiner untern offenen Spitze den Wind der Blasebälge aufnimmt, ist eine Platte befestigt, der *Kern* genannt, welche den Stiefel so weit deckt, dass nur eine breite, gleichmässig schmale Spalte offen bleibt, die man gewöhnlich die *Mündung* oder das *Windloch* ([9]) (*lumière*) der Pfeife nennt. Dicht über diesem Theile befindet sich in dem Pfeifenkörper selbst eine längliche Seitenöffnung, die grösser ist, als jene andere, und der *Aufschnitt* (*bouche*) genannt wird. Der unterhalb dieser Öffnung befindliche Theil heisst das *untere Labium*, der oberhalb derselben befindliche das *obere Labium*, und beide zusammen kurzweg das *Labium* der Pfeife. Daher führen dergleichen Pfeifen ausser dem schon erwähnten, von dem *Kerne* entlehnten, auch den andern: *Labialpfeifen* ([10]). — Nur bei einer Art dieser Pfeifen, der sogenannten *Tibia ordinaria*, tritt an die Stelle des Labiums ein kleines rundes Loch ([11]), wie es bei hieher gehörenden Blasinstrumenten Statt findet.

---

9) Den erstern Namen gibt *Naue* a. a. O. S. 167. an, schlägt aber als passendern dafür *Stimmritze* vor; den letztern findet man bei *Koch*: mus. Lex. A. Orgel S. 1117., u. nebst dem französ. bei *Biot* II. S. 77. Über ein anderes Verfahren, statt des sogenannten Kernes sich eines eigens gearbeiteten Windkanälchens zu bedienen s. *Cäcilia* Bd. XVI. Heft 61. S. 68.

10) Die ausführlichere Beschreibung dieser Pfeifen s. bei *Koch* a. a. O. S. 1116 f. — *Naue* a. a. O. S. 167 f. — *Biot* II. S. 77 f.

11) *Naue* a. a. O. S. 173.

Da die Grösse der Öffnung des andern Endes sehr grossen Einfluss auf den Ton hat, so folgt daraus schon von selbst, dass auch die Grösse der Öffnung desjenigen Endes, von dem bisher die Rede war, nicht ohne Einfluss auf den Ton sein könne. Dieses wird durch die Erfahrung vollkommen bestätigt, indem sie lehrt, dass Verengerung derselben den Ton tiefer, Erweiterung höher macht ([12]). Wir

---

12) Hierauf beruht folgendes Verfahren, gedeckte Pfeifen zu stimmen. Man bringt an die äussere Oberfläche der Pfeife, zur Seite des Labiums, 2 bleierne Blätter an, die sich nach aussen öffnen, und gleichsam ein Paar Ohren darstellen, weshalb sie auch im Französischen *oreilles* heissen; im Deutschen nennt man sie *Bärte.* Sind sie ganz nach aussen geöffnet, so dass sie sich an die Oberfläche der Pfeife anlegen, so gibt diese den natürlichen Ton, der ihr, vermöge ihrer Dimension, zukommt; nähert man sie aber einander allmälig, so verliert der Ton immer mehr an Höhe, oft in sehr bedeutendem Maasse, s. *Biot* II. S. 100. vgl. S. 77. 87. Hieher gehört auch folgende Stelle in *Müller*'s Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 139 f., die ich ihrer Wichtigkeit halber wörtlich mittheile. »Der Einfluss der Embouchure auf den Ton der Pfeife scheint mir aus den Erfahrungen noch nicht ganz aufgeklärt zu sein. Es gibt nämlich eine Art der Bedeckung der Embouchure, wodurch man den Ton der Pfeife ziemlich bedeutend tiefer machen kann. Lege ich über die obere Lippe einer cylindrischen, messingenen Labialpfeife eine Karte fest an, so dass ein Theil der Öffnung bedeckt wird, so kann ich den Ton um mehr als einen Ton unter den Grundton erniedrigen; bedecke ich aber die Öffnung durch eine auf die obere Lippe angedrückte Karte so, dass die Karte dachförmig über der Öffnung liegt, so lässt sich der Ton noch viel tiefer machen und um so tiefer, je mehr die dachförmige Karte gegen die Öffnung niedergedrückt wird. Die Töne, die sich auf diese Weise erhalten lassen, sind alle beliebigen nächsten unter dem Grundton der Pfeife bis auf einige ganze Töne, also keineswegs die mit den Zahlen 1, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{7}$ übereinstimmenden Töne. Stiess ich den Stempel der Pfeife so tief ein, dass das Rohr der Pfeife nur zwei Zoll betrug, so konnte der Grundton der zwei Zoll langen Pfeife durch dachförmige Bedeckung der Embouchure von d bis zu dem nächsten tiefern gis, also fast um eine Quinte herabgedrückt werden, und die dazwischen liegenden Töne entstanden leicht je nach der grössern oder geringern Neigung des über die Embouchure gebildeten Daches. Auch bei einer vierkantigen einfüssigen Pfeife liess sich der Ton durch eine dachförmige Bedeckung der Embouchure herabdrücken.« Vgl. *Cäcilia* Bd. XII. Heft 61. S. 65 — 67. — Sehr bemerkenswerth ist aber hiebei, dass die Verengerung des Mundlochs, z. B. durch eine Bleiplatte, auch das Gegentheil, Erhöhung des Tones namentlich in die nächst höhere Octave bewirken kann, wie *Dulong* in *Poggendorff*'s Annalen d. Phys. u. Ch. Bd. 16. (92.) S. 462. erwähnt, und dass es unter den durch jenes Mittel bewirkbaren Verengerungen eine Grösse des Mundloches gibt, bei welcher man den Grundton und seine Octave mit gleicher Leichtigkeit erhält. Diese gleichfalls von *Dulong* beobachtete Thatsache wird a. a. O. S. 463. mit folgenden Worten berichtet: »Wenn man bei einem gewöhnlichen, an beiden Enden offnen Flötenrohre die Grösse des Mundlochs stufenweise um ein Geringes verändert, so wird man endlich auf eine solche Grösse gerathen, bei welcher man den Grundton und seine Octave mit gleicher Leichtigkeit erhält. In diesem Falle gibt die Röhre wirklich den tiefsten Ton, wenn man nahe an der Mündung der Röhre, senkrecht gegen deren Richtung, die Luft mit dem Munde erschüttert, wie wenn man ein Licht ausblasen wollte, allein während der den Ton erzeugende

müssen indess auch bei dieser Öffnung von ihrer *permanenten* Grösse eine *momentane* unterscheiden. Den letztern Namen verdient nämlich die nur während des Spielens eintretende Verengung des Mundlochs der Querflöte durch den blasenden Mund, wodurch der Ton ungefähr eine halbe Stufe tiefer wird ([13]).

Durch das so eben über die Beschaffenheit des zweiten Endes Gesagte wird erstens deutlich werden, warum Pellisov die *offenen* Pfeifen, wie Andere sie nennen, *einseitig theilweise gedeckte*, die *theilweise gedeckten* Pfeifen *doppelt theilweise gedeckte*, endlich die *ganz gedeckten doppelt gedeckte* nennt ([14]); zugleich aber ergibt sich daraus die Wahrheit der obigen Behauptung, dass, wenigstens bis jetzt, alle Röhren, deren Luftsäulen in Schwingungen sollen versetzt werden können, wenigstens Eine Öffnung, so klein sie auch sein mag, haben müssen; denn dass es, nach Pellisov's Benennung, doppelt *gedeckte* Pfeifen gibt, deren Luftsäulen tönen können, ist, wie Jeder aus dem Gesagten ersieht, nur ein scheinbarer Gegenbeweis.

Luftstrom mit constanter Geschwindigkeit zu blasen fortfährt, springt der Ton in die höhere Octave über und bleibt darin. Wenn man nun mit einer andern Röhre die tiefere Octave etwas stark angibt, so geht das Flötenrohr in diese tiefere Octave zurück; und diesen Wechsel kann man auf die nämliche Weise so oft, wie man wünscht, wiederholen.« — Ausserdem hat die Grösse sowohl, als auch die grössere oder geringere Entfernung des Aufschnitts von der Mündung des Kernes grossen Einfluss auf die Leichtigkeit der Ansprache und auf die Qualität des Tones, nämlich auf seine Deutlichkeit und Helligkeit, s. *Biot* II. S. 77.

13) S. *Schweigger's* u. *Schweigger-Seidel's* Jahrb. der Chem. u. Ph. Bd. 23. (53.) S 328 f. — Wie das Note 12. erwähnte Verfahren Entgegengesetztes bewirken kann, so werden auch der Verengung des Mundloches durch den Mund entgegengesetzte Wirkungen zugeschrieben. Denn nach *Quanz* ist dieselbe der mechanische Entstehungsgrund der harmonischen Töne auf der Flöte, s. *Chladni*: N. Beytr. S. 67. vgl. Akust. S. 85. Wir werden auf diesen Gegenstand § 29. zurückkommen.

14) *Pellisov*: Berichtigung eines Fundamentalsatzes der Akustik. (vgl. oben S. 4.) S. 35., u. s. Aufs.: Theorie gedeckter cylindrischer und konischer Pfeifen und der Querflöten. Aus *Schweigger-Seidel's* Neuem Jahrbuche der Chemie u. Physik Bd. 8. (68.) (Die eingeklammerte Zahl des Bandes bezieht sich auf den zugleich beibehaltenen frühesten Titel: Journal für Chemie u. Physik.) S. 28 — 41. 85 — 102. besonders abgedruckt. Mit 1 Kupfert. Halle, bei E. Anton. 1833. 8. S. 7. 11 — 13.

Vergleichen wir die Schwingungen einer Luftsäule mit denen einer longitudinal schwingenden Saite und den weiter unten zu erörternden Schwingungen von Stäben, so finden wir folgende Übereinstimmungen besonders mit den letztern:

1) Mit beiderlei Körpern kommen sie darin überein, dass 2 durch einen festen Theil (*Schwingungsknoten* bei Saiten, *Knotenlinie* bei Stäben, *Knotenfläche* bei Luftsäulen) getrennte Theile stets nach entgegengesetzter Richtung sich bewegen ([15]).

2) Wie bei den Stäben ein an einem freien Ende liegender Theil, so ist auch bei den schwingenden Luftsäulen ein an einem offenen Ende der Röhre schwingender Theil ungefähr halb so gross, als ein zwischen 2 festen Theilen befindlicher, welche bei Luftsäulen entweder beide Knotenflächen sind, oder deren einer eine Knotenfläche, der andere aber die das eine Ende der Luftsäule begrenzende Decke einer gedeckten Pfeife ist ([16]). Man hat daher einen Theil

---

15) *Chladni* S. 87. — *Pellisov* a. a. O. S. 1. — Einen experimentellen Beweis dieses auch von *Bernoulli* aufgestellten Satzes hat *Wheatstone* auf die in *Poggendorff's* Annalen d. Phys. u. Ch. Bd. 28. (104.) S. 446 f. beschriebene Art geführt.

16) *Chladni* S. 86. Vgl. das unten über die analoge Erscheinung bei den Stäben Bemerkte. — Dieses gilt jedoch von den Luftsäulen der an beiden Enden offenen Orgelpfeifen (und anderer Blasinstrumente), ihres Baues wegen, nur mit einiger Beschränkung. Schwingt nämlich die Luftsäule einer solchen Röhre z. B. mit 2 Knotenflächen, so liegt allerdings jede derselben ungefähr um ein Viertel der ganzen Länge von dem ihr nächsten Ende entfernt; allein ihre Entfernung von diesem Ende ist nicht bei beiden Knotenflächen gleich gross, sondern die nach dem vollkommen offenen Ende hin liegende ist, nach *Savart's* Beobachtung, von demselben stets weiter entfernt, als die andere von dem Ende, wo die Röhre angeblasen wird, s. *W. Weber's* Auszug aus den die Theorie des Schalles und Klanges betreffenden Aufsätzen von *Felix Savart*, in *Schweigger's* Jahrb. d. Chem. u. Ph. Bd. 14. (44.) S. 422. Demnach ist der Satz, ein an einem offenen Ende schwingender Theil sei halb so gross, als ein zwischen 2 festen Flächen liegender, nicht in voller Strenge richtig. Daraus erklärt sich zugleich, warum bei der Berechnung der absoluten Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles in verschiedenen flüssigen Körpern verschiedene Resultate sich ergeben, jenachdem man dieselbe aus dem gegenseitigen Abstande zweier sich zunächst liegender Knotenflächen, während jener Körper in einer offenen Pfeife

der letztern Art als einen *ganzen*, einen der erstern Art als einen *halben Theil* betrachtet ([17]). Ich halte es dagegen für passender, einen solchen Theil, den Andere einen *ganzen* nennen, mit Chladni ([18]), als die *Vereinigung zweier Theile von der Grösse eines an einem offenen Ende liegenden* zu betrachten, weil durch diese Auffassungsweise nicht nur das gegenseitige Verhältniss der Töne der verschiedenen Schwingungsarten verdeutlicht wird, indem sich dann die Töne wie die Zahl der Theile verhalten (s. die folgende Tabelle), sondern auch das namentlich bei den Saiten geltende Gesetz, dass sich die Töne umgekehrt wie die Längen der schwingenden Theile verhalten, dann auch hier, (wie später auch bei den Stäben) seine Anwendung findet.

3) Die Schwingungen einer Luftsäule in einer an beiden Enden ganz offenen Röhre stimmen ganz mit denen eines an beiden Enden freien Stabes, die einer Luftsäule in einer an einem Ende ganz verschlossenen, am andern ganz offenen Röhre mit denen eines Stabes überein, der an einem Ende frei, am andern befestigt ist, vorausgesetzt, dass der Stab, gleich der Luftsäule, *longitudinal* schwingt ([19]). Da nun aber, dem Obigen zufolge, kein Blasinstrument an beiden Enden, oder, wenn das eine Ende gedeckt ist, am andern *ganz offen* ist, so erleidet auch die eben erwähnte Übereinstimmung, obwohl sie im All-

---

schwingt, oder aus dem Abstande der dem ganz offenen Ende zunächst liegenden Knotenfläche von diesem Ende ableitet, wie *Dulong's* Berechnungen zeigen, s. *Poggendorff's* Annalen d. Phys. u. Ch. Bd. 16. (92.) S. 462. vgl. S. 469. 17) So *Dulong*, welcher a. a. O. S. 460. 462. den am offenen Ende liegenden Theil die *letzte halbe Concameration* nennt 18) S. 89. 19) *Chladni* S. 104.

gemeinen gültig bleibt, doch im Einzelnen mancherlei Abweichungen ([20]), und findet nur da in voller Strenge Statt, wo die Röhre wirklich die obige Beschaffenheit hat. Die Luftsäule einer solchen Röhre kann aber nicht auf die gewöhnliche Weise in Schwingung versetzt werden, sondern nur durch Vorhalten eines andern tönenden Körpers, dessen Ton mit dem jener Luftsäule entweder identisch ist, oder mit ihm zu derselben harmonischen Reihe gehört. Dazu dient z. B. eine tönende Stimmgabel, Scheibe oder Glocke (vgl. § 30.), doch kann auch selbst durch dieses Vorhalten der Ton der Röhre etwas verändert werden, sofern die Öffnung, an der es geschieht, dadurch gewissermassen zu einer theilweise gedeckten wird. — Jene Übereinstimmung der Wirkungen der beiden Begrenzungsarten einer schwingenden Luftsäule mit denen der zwei genannten Haltungsweisen eines schwingenden Stabes lässt uns schliessen, dass die Schwingungen einer Luftsäule, die in einer überall ganz verschlossenen Röhre sich befände, falls sie möglich wären, denen eines

---

20) Eine dieser Abweichungen erwähnten wir Note 16. Eine andere Abweichung ist folgende. Wenn in einem an beiden Enden offenen Blasinstrumente nur Eine Knotenfläche vorhanden ist (welches dann der Fall ist, wenn sie ihren tiefsten Ton gibt), so sollte diese, der Theorie nach, genau in der Mitte der Röhre liegen, wie die Knotenlinie eines an beiden Enden freien Stabes bei seinem tiefsten Tone (vgl. *Chladni* S. 86. u. Tab. II. Fig. 14.) Da aber das Mundloch kleiner als das entgegengesetzte offene Ende zu sein pflegt, so sind auch die beiden Abtheilungen einer schwingenden Luftsäule dies- und jenseits der Knotenfläche in einem solchen seinen Grundton gebenden Blasinstrumente von ungleicher Länge, indem die Knotenfläche näher am Mundloche, als am vollkommen offenen Ende liegt, s. *W. Weber's* kurz zuvor angeführten Auszug, in *Schweigger's* Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. 14. (44.) S. 422. u. *Dulong's* erwähnten Aufs. in *Poggendorff's* Annalen d. Phys. u. Chem. Bd. 16. (92.) S. 469. Dagegen sind die zwischen je 2 festen Flächen liegenden Theile, falls deren mehrere bei einer Schwingungsart vorhanden sind, einander stets gleich, wenn die Luftsäule in einer überall gleich weiten, d. h. in einer cylindrischen oder prismatischen Röhre schwingt (vgl. *Biot* II. S. 94.); befindet sie sich aber in einer Röhre mit ungleichem Durchmesser, also einer konischen oder

an beiden Enden befestigten, longitudinal schwingenden Stabes gleichen würden (21).

Welche Töne die in einer Röhre schwingende Luftsäule, der Theorie nach, hervorzubringen vermöge, zeigt die folgende Tabelle, in welcher die mit a. bezeichneten Reihen die Töne einer an beiden Enden offenen, die mit b. bezeichneten die Töne einer an einem Ende ganz geschlossenen Röhre enthalten. Die über den Tonzeichen stehenden Zahlen zeigen die Anzahl der Theile an, in welche die schwingende Luftsäule sich entweder *wahrnehmbar* durch *wirkliche*, die Theile trennende *Knotenflächen eintheilt* (22), oder in welche sie, dem kurz zuvor bei 2) Bemerkten zufolge, *eingetheilt zu denken ist*, indem einer oder mehrere der durch Knotenflächen geschiedenen Theile doppelt so gross sind, als einer, der an einem offenen Ende liegt. Die letztere nur in der Vorstellung existirende Zahl der Theile ist überall eingeklammert, die erstere dagegen nirgends. Demnach zeigt die über C stehende 1 an, dass bei diesem hier angenommenen tiefsten Tone (dem eigentlichen *Grundtone*) die Luftsäule einer gedeckten Röhre *ungetheilt*, *ohne Knotenfläche* schwingt; die 2 über c, dass die Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre bei ihrem tiefsten Tone durch eine Knotenfläche in 2 gleiche (vgl. jedoch Note 20.) Hälften sich theilt; die 2 (3) über g, dass die Luftsäule einer gedeckten Röhre bei diesem höhern Tone durch eine Knotenfläche *sichtbar* nur in 2 Theile sich eintheile, einer derselben aber, nämlich der zwischen dem Deckel und der Knotenfläche lie-

---

pyramidalischen, so sind die Längen jener Abtheilungen nicht mehr nothwendig unter einander gleich, s. *Biot* II. S. 97. 21) *Chladni* S. 104. 22) Wie diese Knotenflächen wahrnehmbar gemacht werden, zeigt *Savart*, s. *W. Weber's* Auszug, in *Schweigger's* Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. 14. (44.) S. 422 f.

gende, *in Gedanken* für 2 zu rechnen sei, weil er doppelt so gross ist, als der zwischen der Knotenfläche und dem offenen Ende liegende Theil; 3 (4) über $\bar{c}$, dass die Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre bei diesem Tone, der ihr zweiter höherer ist, *sichtbar* in 3 Theile durch 2 Knotenflächen sich eintheile, von diesen aber der eine, nämlich der zwischen den beiden Knotenflächen liegende, doppelt so gross sei, als ein zwischen einer dieser Knotenflächen und dem ihr nächsten offenen Ende liegender, und deshalb *in Gedanken* für 2 gerechnet werde. Hiernach wird man sich von selbst alle folgenden Zahlen deuten können. Zugleich ersieht man aus dem eben Gesagten, dass man die Zahl der bei jeder Schwingungsart vorhandenen Knotenflächen stets erhält, wenn man die nicht eingeklammerte Theilzahl um eins vermindert. Denn bei C ist sie $1-1=0$, d. h. bei dem tiefsten Tone einer gedeckten Röhre ist gar keine Knotenfläche vorhanden; bei c und g ist die Zahl der Knotenflächen $2-1=1$, bei $\bar{c}$ und $\bar{e}$ $3-1=2$, bei $\bar{g}$ und $\overline{\text{ais}}+$ $4-1=3$, bei $\bar{\bar{c}}$ und $\bar{\bar{d}}$ $5-1=4$ u. s. w.

a)	2 c 2		3 (4) $\bar{c}$ 4		4 (6) $\bar{g}$ 6		5 (8) $\bar{\bar{c}}$ 8	
b) 1 C 1		2 (3) g 3		3 (5) $\bar{e}$ 5		4 (7) $\overline{\text{ais}}+$ 7		5 (9) $\bar{\bar{d}}$ 9

a) 6 (10) $\bar{\bar{e}}$ 10		7 (12) $\bar{\bar{g}}$ 12		8 (14) $\overline{\overline{\text{ais}}}+$ 14		9 (16) $\bar{\bar{\bar{c}}}$ 16
b)	6 (11) $\overline{\overline{\text{fis}}}-$ 11		7 (13) $\overline{\overline{\text{as}}}+$ 13		8 (15) $\bar{\bar{h}}$ 15	

a)		10 (18) ≡ d 18		11 (20) ≡ e 20		12 (22) ≡ fis — 22
b)	9 (17) ≡ des — 17		10 (19) ≡ es — 19		11 (21) ≡ eis + 21	
a)		13 (24) ≡ g 24		14 (26) ≡ as + 26		15 (28) ≡ ais + 28
b)	12 (23) ≡ ges — 23		13 (25) ≡ gis 25		14 (27) ≡ a + 27	
a)		16 (30) ≡ h 30		17 (32) ≡ c 32		
b)	15 (29) ≡ b + 29		16 (31) ≡ his — 31			

Was die beigefügten Zeichen + und — bedeuten sollen, setze ich als aus dem Obigen schon bekannt voraus.

Ich brauche wohl nicht ausdrücklich zu bemerken, dass die 4 letzten Reihenpaare die Fortsetzung des erstern Paares sind und, statt unter diesem, eigentlich, wenn es der Raum gestattete, neben ihm stehen sollten. Vergleicht man die Reihe a) mit der Reihe b), so erkennt man bald, dass alle Töne der letztern Reihe auch in der erstern vorkommen, nur mit dem Unterschiede, dass sie in dieser der nächst höhern Octave angehören, weil der Grundton der Reihe a) um eine Octave höher ist, als der der

Reihe b) ([23]). Daraus folgt, dass, wenn der Grundton der erstern Reihe statt c das grosse C ist, sämmtliche hier genannte Töne die Reihe a) bilden werden, so dass eine Luftsäule, die in einer an beiden Enden offenen, geraden oder gekrümmten ([24]) Röhre schwingt, wenn ihr tiefster Ton C ist, der Theorie nach folgende Töne hervorbringen könnte: C, c, g, $\overline{c}$, $\overline{e}$, $\overline{g}$, $\overline{ais}$+, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{d}}$, $\overline{\overline{e}}$, $\overline{\overline{fis}}$—, $\overline{\overline{g}}$, $\overline{\overline{as}}$+, $\overline{\overline{ais}}$+, $\overline{\overline{h}}$, $\overline{\overline{\overline{c}}}$, $\overline{\overline{\overline{des}}}$—, $\overline{\overline{\overline{d}}}$, $\overline{\overline{\overline{es}}}$—, $\overline{\overline{\overline{e}}}$, $\overline{\overline{\overline{eis}}}$+, $\overline{\overline{\overline{fis}}}$—, $\overline{\overline{\overline{ges}}}$—, $\overline{\overline{\overline{g}}}$, $\overline{\overline{\overline{gis}}}$, $\overline{\overline{\overline{as}}}$+, $\overline{\overline{\overline{a}}}$+, $\overline{\overline{\overline{ais}}}$+, $\overline{\overline{\overline{b}}}$+, $\overline{\overline{\overline{h}}}$, $\overline{\overline{\overline{his}}}$—, $\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$. Demnach liegt diese von Biot ([25]) aufgestellte Tonreihe eigentlich in jedem Blasinstrumente, das die angezeigte Beschaffenheit hat, z. B. im Waldhorn, der Trompete, dem Schlangenrohr und den Flöten, wenn man die Seitenlöcher dieser beiden Instrumente verschliesst ([26]). Dessenungeachtet hört man wohl auf keinem solchen Instrumente alle diese Töne, nämlich den Grundton nebst allen seinen Beitönen, welche beide zusammen *seine natürlichen Töne* ([27]) genannt werden. Dieses beruht im Allgemeinen grösstentheils auf dem Verhältniss der Länge der Röhre zu ihrer Weite.

---

23) So bei cylindrischen und prismatischen Röhren (vgl. oben S. 103 f.), wenigstens der Theorie nach, deren Richtigkeit *Biot* II. S. 89 f. zu beweisen sucht. Indess hat *Dulong* die Beobachtung gemacht, dass wenigstens bei Pfeifen von solcher Dimension, wie die seinigen waren, der Grundton einer ganz gedeckten fast um eine halbe Tonstufe höher sei, als die untere Octave des tiefsten Tones einer, der vorigen übrigens ganz gleichen, offenen Pfeife, s. *Poggendorff's* Annalen d. Phys. u. Chem. Bd. 16. (92.) S. 463. 24) Die Krümmung hat gar keinen Einfluss auf die Tonhöhe, und dient bei Blasinstrumenten, wie dem Schlangenrohre und dem Horne, zu weiter nichts, als den Röhren, indem sie sich gegen sich selbst zurück biegen, eine grosse Länge bei einem kleinen Volumen zu geben. Die Tonreihe ist daher ganz die nämliche, wie bei geradlinigen Röhren von gleichem Durchmesser und gleicher Länge, s. *Biot* II. S. 99. *Chladni* S. 87. Die Behauptung des Letztern a. a. O.: »Ob ein Blasinstrument oder eine Orgelpfeife gerade oder gebogen ist, thut nichts zur Sache«, erklärt *Pellisov* in s. Berichtigung eines Fundamentalsatzes der Akust. S. 22. für einen Irrthum, denn ein Instrument spreche desto härter, unreiner und unvollkommener an, je enger es gewunden sei, und es gäbe eine Grenze des Durchmessers der Windungen, über welche hinaus das Instrument gar nicht mehr zum Ansprechen gebracht werden könne. 25) Bd. II. S. 91. 26) Ebend. und *G. Weber*: A. Beitöne, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. VIII. S. 381 f. Vgl. § 27. 27) *G. Weber* a. a. O. S. 381.

Man kann als Regel annehmen, dass eine im Verhältniss ihrer Länge ziemlich enge Röhre ihre höhern Beitöne leicht, die tiefern aber schwer oder gar nicht anspricht; und umgekehrt. So fand Dulong bei einer Pfeife, die nicht eine den Regeln der Orgelbauer entsprechende Proportion, sondern 62,2 Centimeter Länge, 14 Millimeter Breite und 15 Millimeter Tiefe hatte, dass sie nur mit Schwierigkeit den Grundton gab, und bei der geringsten Verstärkung der Geschwindigkeit des Luftstromes in die höheren Töne übersprang ([28]). Darum spricht z. B. auf der *Flöte*, deren Röhre im Verhältniss ihrer geringen Länge ziemlich weit ist, bei dem Griff $\bar{d}$ schon das $\bar{\bar{d}}$ nicht völlig leicht und gut an, die folgenden Beitöne $\bar{\bar{a}}$, $\bar{\bar{\bar{d}}}$, $\bar{\bar{\bar{\text{fis}}}}$, $\bar{\bar{\bar{a}}}$ grösstentheils noch übler, und der auf $\bar{\bar{\bar{a}}}$ folgende Beiton $\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$ will vollends gar nicht mehr heraus. Umgekehrt haben *Horn* und *Trompete*, deren Röhre im Verhältniss ihrer bedeutenden Länge sehr eng ist, die Eigenheit, dass ihr allertiefster Ton, der eigentliche Grundton, den das Instrument, der Länge seiner Röhre gemäss, angeben sollte, gar nicht anspricht, sondern bloss wie ein unvernehmlicher, gleichsam flatternder Hauch vernommen wird, so dass erst mit dem um eine Octave höhern ersten Beitone jenes unvernehmlichen Grundtones die Reihe der wirklichen Töne dieser beiden Instrumente beginnt ([29]). Während aber bei fast allen unsern Blasinstrumenten die Beitöne wesentlich nothwendig sind, indem ihr ganzes Tonspiel hauptsächlich auf der Benutzung dieser Töne beruht, fordert man dagegen von den *Orgelpfeifen* (mit alleiniger Ausnahme des Orgelregisters,

28) S. *Poggendorff's* Annalen der Phys. u. Chem. Bd. 16. (92.) S. 464. 29) *G. Weber* a. a. O. S. 382.

welches *Quintatön* heisst, s. Anmerkung 2.) und den *Hörnern der sogenannten russischen Jagdhörnermusik* gar keine Beitöne, sondern sie haben, gleich den Saiten eines Fortepiano, immer nur ihren Grundton anzugeben. Eben deshalb aber bedarf man für jeden verschiedenen Ton eine besondere Pfeife und ein besonderes Horn (30). Dass die obige Tonreihe einer Luftsäule, die in einer an beiden Enden offenen Röhre schwingt, ganz identisch sei mit der einer transversal schwingenden Saite, ersieht man aus S. 110 f., wo zugleich die Abweichungen der so eben aufgestellten von der dortigen erläutert sind. Ferner wird die weiter unten folgende Tabelle der Töne eines longitudinal schwingenden Stabes das S. 125 f. Nr. 3. Behauptete bestätigen, dass die obige Reihe a) mit der Tonreihe eines an beiden Enden freien Stabes, die Reihe b) mit der eines an einem Ende freien, am andern Ende befestigten Stabes vollkommen übereinstimmt in den Tonverhältnissen, und wenn der Grundton einer Luftsäule dem des zu vergleichenden Stabes gleich ist, auch in den einzelnen Tönen mit jenen übereinkommt. — Zugleich ersieht man aus jener Tabelle, dass die Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre stets wenigstens Eine Knotenfläche bildet, und dass nur eine gedeckte Pfeife ohne Knotenfläche zu schwingen vermag. — Als Zahlen, mit deren Quadraten die Töne übereinstimmen, hätten bei der Reihe a) auch die der natürlichen Reihenfolge 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w. gewählt werden können; dann aber würde nicht ihr Verhältniss zu denen der Reihe b) so deutlich geworden sein.

Über die Schwingungen der Luft bei der *Stimme*

30) Ebend. S. 382.

lebendiger Wesen wird in meiner allgem. vergleichenden Sprachlehre S. 34 ff. geredet werden.

Anmerkung 1. Es ist S. 49. Note 38. die Behauptung Pellisov's erwähnt, dass die schwingende Luftsäule in den Blasinstrumenten nicht der selbsttönende, sondern der tonerregende Körper sei, der eigentliche Ton selbst aber in der Molecularschwingung der soliden Masse des Instrumentes seinen Grund habe. Mit diesem von Pellisov in s. Berichtigung eines Fundamentalsatzes der Akustik S. 18. (u. 14.) so ohne alle Beschränkung aufgestellten Satze vergleiche man folgende Stelle ebend. S. 32.: »Bei allen bisher betrachteten Blasinstrumenten (folglich bei den Flöten, Trompeten, Hörnern, Posaunen, Serpenten, Oboen, Fagotten, Clarinetten, Orgelpfeifen; denn alle diese werden von S. 18—32. in Betracht gezogen) bildet die im Instrument enthaltene Luftsäule bloss das Medium, welches, in Verbindung mit dem vibrirenden Blatte (Er meint also unter jenen Instrumenten nur die, welche ein Blatt enthalten, mithin nur die Schnarrwerke), die Quantität des Tones hervorbringt und die Schwingungen gleichförmig dem Instrumente mittheilt. Hier hat die Länge der Luftsäule überhaupt nur einen secundären Einfluss, die eigentlich den Ton erregende Ursach ist das *Blatt.* — Es gibt aber auch Blasinstrumente, wo die Luftsäule selbst die tonerregende, *der erregende Grund des erscheinenden Tones ist*, und dahin gehören die sogenannten *Flötenwerke*«. Indem ich noch hinzufüge, dass S. 14. die bloss *tonerregenden* Körper den *selbsttönenden* Körpern entgegengestellt werden, und S. 34. gesagt wird, bei den sogenannten Flötenwerken der Orgel und den Flöten werde die *Quantität des Tones* allein durch die Länge der Luftsäule bedingt, womit man auch noch s. Aufs.: Über Schall, Ton, Knall u. s. w. S. 11. vergleichen möge, überlasse ich es, um nicht hierbei zu weitläufig zu werden, dem Leser selbst, jene Sätze sowohl unter sich zu einem übereinstimmenden Ganzen zu vereinen, als auch mit den Ansichten Anderer auf die entscheidende Wagschaale zu legen. Nur das Eine erwähne ich noch, dass bei den Kern- oder Labialpfeifen (oder, wie man sie auch nennt, den Flötenwerken) der Orgel und allen Blasinstrumenten, auch denjenigen, welche mittelst Zungen (oder Blätter) zur Ansprache gebracht werden, wie z. B. bei Fagott und Oboe, bei diesen jedoch mit gewisser Modification, von Andern die Luftsäule als selbsttönend betrachtet wird, und

dass nur bei derjenigen Gattung von Orgelpfeifen, die man Rohrwerke, Zungenwerke, Zungenpfeifen oder Schnarrwerke nennt, gegründete Zweifel erhoben worden sind, ob die in der Röhre enthaltene Luftsäule, oder ob die Zunge als selbsttönender Körper zu betrachten sei, vgl. G. Weber: A. Blasinstrumente, in der Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 317., und was § 27. weiter hierüber wird gesagt werden. Denn da die Zunge dieser Pfeifen die Schwingungen der Platten als bekannt voraussetzt, so können wir erst, nachdem wir die Schwingungen der letztern erläutert haben, diese Gattung ausführlicher behandeln.

Anmerkung 2. Dass nicht nur feste Körper, sondern auch Luftsäulen *mehr als einen Ton gleichzeitig hervorbringen* können, ist bereits S. 27. erwähnt. Vgl. ausser der dort Note 37. erwähnten Stelle auch Chladni: N. Beytr. S. 66 u. Biot II. S. 26. 96. Es können nämlich, wie an jedem klingenden Körper, so auch an einer in einem Blasinstrumente enthaltenen Luftsäule 2 Schwingungsarten, die sich einzeln hervorbringen lassen, auch zugleich Statt finden, ohne dass eine die andere hindert. Bemerkenswerth ist in dieser Hinsicht das zu den gedeckten Kern- oder Labialpfeifen gehörende Orgelregister *Quintatön*, welches neben dem Grundtone auch die Quinte schwach mithören lässt, und eben deshalb jenen Namen führt. Die mitklingende Quinte sucht man dadurch zu erreichen, dass man an beiden Seiten des Labiums Bärte, schwache Metallstreifen, anbringt. S. Naue a. a. O. S. 176 f.

Anmerkung 3. Ausser dem erwähnten *quantitativen* Unterschiede der Töne findet bei den offenen und gedeckten Pfeifen auch ein *qualitativer* Statt, indem die Töne der offenen unter übrigens gleichen Verhältnissen viel heller sind, als die der ganz gedeckten, die der theilweis gedeckten aber zwischen beiden die Mitte halten, einerseits der Lieblichkeit der ganz gedeckten, andererseits der Fülle der offenen Pfeifen sich nähernd. S. Naue a. a. O. S. 168.

Anmerkung 4. Vergleicht man den Klang der Luftsäulen mit dem der festen Körper, namentlich der Saiten, so findet man das Eigene, dass der Klang jener aufhört, sobald die ihn erregende Ursache aufhört zu wirken, dass also, mit andern Worten, eine Luftsäule nicht, wie eine Saite, nachklingt. Die Ursache liegt, nach Poisson, darin, dass die am offenen oder

gedeckten Ende der Orgelpfeife oder eines andern Blasinstrumentes zurückgeworfene Welle stets schwächer ist, als die auffallende, von der sie abhängt, und daher nach wenigen Reflexionen nicht mehr die zur Wahrnehmung eines Schalles nöthige Intensität hat. S. Baumgartner S. 255., vgl. Suppl.-Bd. S. 356. — Biot II. S 96.

§ 19.

Eintheilung der Schwingungsarten mit besonderer Rücksicht auf Körper, welche Knotenlinien bilden.

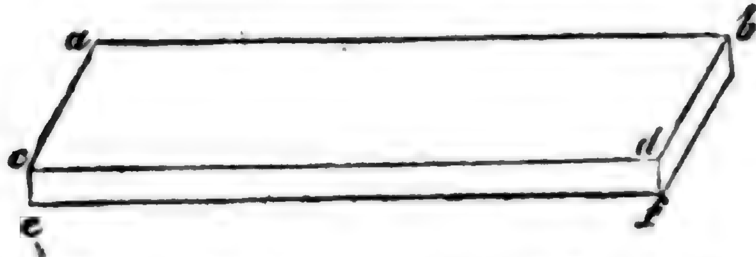
Bisher war von den Schwingungsarten solcher Körper die Rede, bei denen sich *Schwingungsknoten* oder *Knotenflächen* bilden können (s. S. 105 f.). Wir gehen jetzt zu denen über, bei welchen *Knotenlinien* sich bilden können. Bevor wir aber auf deren Schwingungsarten specieller eingehen, muss einiges Allgemeine über die verschiedene Richtung der Schwingungen gesagt werden. Wir theilten S. 30 f. diejenigen, bei welchen ein Körper selbsttönen kann, nach Chladni in 1) *longitudinale*, 2) *transversale* und 3) *drehende.* Da wir jetzt zu den Schwingungsarten der Körper übergehen, bei denen 3 Dimensionen: Länge, Breite, Dicke, in Betracht kommen, so bedarf jene Eintheilung der Schwingungsrichtungen einiger Modification. Indem wir dabei Savart's (1) und W. Weber's (2) Ansichten sorgfältig berücksichtigen, theilen wir die Schwingungen jetzt auf folgende Weise ein:

1) *Schwingungen ohne Beugung des Körpers.* Weil in diesem Falle nur eine Molecular-, nicht aber zugleich eine Totalbewegung desselben Statt findet, so folgen die schwingenden Molecule genau der Richtung des Stosses, so dass jede Veränderung der Richtung des

---

1) S. *Gay-Lussac* et *Arago*: Annales de chimie et de physique. Tome XXV. p. 19. 260 sqq., und *W. Weber* über *Savart's* Klangversuche, in *Schweigger's* Jahrb. d. Chem. und Phys. Bd. 14. (44.) S. 403 f. 2) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. d. Chem. und Phys. Bd. 15. (45.) S. 277 ff.

letztern auch eine genau entsprechende Veränderung der Richtung der erstern zur Folge hat. Diese Schwingungen zerfallen zunächst in 2 Hauptclassen: in *geradlinige* und *krummlinige.* In Betreff der erstern gibt es z. B. bei einem Stabe wie a b c d e f



zunächst 3 verschiedene Hauptrichtungen der Molecularschwingungen: 1) in der Richtung von a c nach b d und zurück, oder umgekehrt, d. h. ihrer Länge nach, parallel mit den Seitenkanten; 2) in der Richtung von c d nach a b und zurück, oder umgekehrt, d. h. ihrer Breite nach, perpendicular auf die Seitenkanten der Platte; 3) in der Richtung von e f nach c d und zurück, oder umgekehrt, d. h. ihrer Dicke nach, perpendicular gegen die Oberflächen. Ausserdem sind noch eine Menge schiefer Richtungen möglich, welche zwischen jene Hauptrichtungen fallen. Da die Molecule bei diesen Körpern stets *tangential* schwingen, so können wir mit Savart und W. Weber die erste Richtung die *tangential longitudinale*, (von Chladni schlechtweg die *longitudinale* genannt,) die zweite die *tangential transversale*, die dritte die *tangential normale*, die übrigen *tangential schiefe* und *schiefe* (vgl. § 24.) nennen. Die zweite Hauptclasse jener Schwingungen, die *krummlinigen*, bei denen sich die Theilchen abwechselnd rechts und links in einer kreis- oder schraubenförmigen Richtung so bewegen, als ob sie sich um ihre Achse drehen wollten, hat von ihrem Entdecker Chladni den Namen »*drehende Schwingungen*« erhalten. Sie lassen sich am besten an cylindrischen Stäben, die eine recht glatte Oberfläche haben,

dadurch hervorbringen, dass man sie rechts oder links in einer drehenden Richtung reibt. Bisweilen brachte derselbe auch an parallelepipedischen Stäben solche Schwingungen hervor, indem er sie mit dem Violinbogen in einer diagonalen Richtung strich ([3]). Sämmtliche Schwingungen dieser beiden Hauptclassen sind *primäre* Schwingungen, weil sie unmittelbare Fortsetzungen des Stosses sind (vgl. S. 33 f.).

2) *Schwingungen mit Beugung des Körpers.* Die Beugung liegt entweder mit der obern und untern breiten Fläche in Einer Ebene, oder, mit andern Worten, sie ist mit der Breite parallel, dagegen senkrecht (normal) auf die Dicke, d. h. die Ausbeugung tritt seitwärts in der Richtung der Dicke bei dem oben gezeichneten Stabe abwechselnd bei a b und bei c d e f hervor; oder sie liegt mit den Flächen der Dicke in Einer Ebene, ist mit ihnen parallel, und normal auf die breiten Flächen, d. h. sie tritt abwechselnd über die Ebene a b c d empor und unter dieselbe hinab. Die Richtung solcher Beugungen erleidet, wenn sie einmal bei einem Körper erregt sind, durch eine Veränderung der Richtung der Stösse keine Veränderung. Diese Schwingungsart wird von Chladni die *transversale*, von den Gebrüdern H. und W. Weber die *secundäre* genannt, weil, obgleich auch diese Art von Schwingungswellen durch Stösse erregt wird, doch ihr weiterer Fortgang durch andere Kräfte bewirkt wird ([4]). Der auf so schwingenden Flächen aufgestreute Sand wird stets in einer auf die Längenachse senkrechten Richtung geworfen, weshalb Savart diese Schwingungsart zuweilen unrichtig mit seiner normalen verwechselt ([5]).

---

3) Akust. S. 110 f. — *W. Weber* a. a. O. Bd. 15. (45.) S. 286. — Dieser Schwingungsart der Stäbe entsprechen gewisse Schwingungen der Scheiben, s. *Chladni* S. 155 f.
4) S. oben S. 34. und im angef. Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 281. 289.
5) *W. Weber* a. a. O. Bd. 15. (45.) S. 281. 288 f.

Anmerkung 1. Anders theilt **Poisson** die Schwingungen eines Stabes ab in einer Notiz in den Annales de chimie et de physique Tom. XXXVI. ein, wovon man einen Auszug in **Poggendorff's** Annalen d. Phys. Bd. 13. (89.) S. 400 ff. findet. Im letztern heisst es S. 400.: »Ein und derselbe elastische Stab kann auf vier verschiedene Weisen schwingen. Er macht: 1) *longitudinale* Schwingungen, wenn man ihn der Länge nach auszieht oder zusammendrückt; 2) *normale* Schwingungen, wenn dasselbe senkrecht gegen seine grösste Dimension geschieht; 3) *drehende* Schwingungen, wie **Chladni** sie nennt, welche vermöge einer Drehung um die Achse Statt finden, und endlich 4) *transversale* Schwingungen, welche durch Biegungen hervorgerufen werden«. Dieselbe Eintheilung stellt **Poisson** auch in s. Traité de mécanique Tome II. p. 368. auf.

Anmerkung 2. **Savart** zieht aus seinen Versuchen die wichtige Folgerung, dass die drei von **Chladni** unterschiedenen Schwingungsarten tönender Körper, die *longitudinale*, *transversale* und *drehende*, nicht wesentlich von einander verschieden, sondern nur Modificationen eines und desselben Vorgangs seien, zwischen welchen unendlich viele Schwingungsarten in der Mitte liegen und den Übergang bilden, s. **Schweigger**: Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. 14. (44.) S. 404. Bd. 15. (45.) S. 286 f. Dieser Ansicht stellt aber **W. Weber** ebend. Bd. 15. (45.) S. 287 ff. wichtige Gründe entgegen, welche wenigstens die grosse Verschiedenheit der *longitudinalen* und *transversalen* Schwingungen darthun, erkennt aber als durch **Savart** völlig erwiesen an, dass zwischen den von ihm genannten *tangential longitudinalen*, *tangential transversalen* und *normalen* Schwingungen kein wesentlicher Unterschied Statt finde, weil bei allen diesen drei Schwingungsarten der tönende Körper oft denselben Ton gibt, s. a. a. O. S. 288.

Dass von diesen verschiedenen Schwingungsarten auch zwei oder mehrere gleichzeitig an einem Körper vorhanden sein können, wird im Folgenden gehörigen Ortes erwähnt werden.

Versichtbart werden diese Schwingungen eines Körpers auf verschiedene Weise,

1) durch *Aufstreuung fester Körper*. Als solcher wurde

bereits S. 21 f. der Sand erwähnt ([6]). Ausserdem wendet man Feilstaub, selbst Platinkörner, auch Lycopodium oder Hexenmehl an (s. § 22.);

2) durch *Bedeckung mit Wasser*, wobei sich die Knotenlinien durch das Kräuseln des Wassers versichtbaren;

3) durch *darauf fallendes Sonnenlicht*, oder auch, wenn es darauf ankommt, die Bewegungen des Endes eines schwingenden Stabes genauer zu erkennen, durch Polirung desselben oder Befestigung eines leuchtenden Körpers auf demselben (s. unten).

So viel möge hier zum kurzen Überblicke der Verfahrungsarten genügen. Ausführlicheres wird bei den Klang- und Resonanzfiguren hierüber bemerkt werden.

Bei den so versichtbarten Knotenlinien sind zwei Arten sorgfältig von einander zu scheiden:

1) Linien, welche durch Schwingungen gebildet werden, von denen die Tonhöhe abhängt, und welche man daher *tönende Schwingungen* nennen kann, und

2) Linien, welche durch Schwingungen bewirkt werden, die auf die Höhe des Tones keinen Einfluss haben.

Diese beiden Arten von Linien unterscheiden sich von einander

a) von Seiten ihres *Ursprungs*, wie schon aus dem eben Gesagten erhellet. Die Linien der zweiten Art, welche zuerst Savart und sodann H. und W. Weber untersucht haben, zeigen sich z. B. auf einer Platte deutlich, wenn die tönende Schwingung zu schwach ist (wenn sie nicht unmittelbar mit dem Violinbogen

---

6) Als Entdecker dieses Verfahrens gilt *Chladni*. Indess hat schon *Galilei* dieses sinnreiche Mittel erfunden, wie aus dem ersten Tage seiner Dialogen über die Bewegung erhellt. Allein es gerieth wieder in Vergessenheit bis auf die Zeit, wo *Chladni* die Entdeckung desselben erneuerte, indem er es auf eine grosse Zahl von Versuchen über die Schwingung elastischer Scheiben anwandte. S. *Biot* II. S. 52.

gestrichen, sondern mittelbar durch eine schwingende Saite erschüttert wird), oder während die schwingende Platte gar keinen Ton gibt. Sie sind stets parallel mit der Bewegung des die Schwingungen bewirkenden Violinbogens ([7]). Die Linien der erstern Art entstehen, wenn die tönende Schwingung vorherrscht, d. h. wenn dieselbe so stark ist, dass die von ihr dem Sande mitgetheilten Stösse heftiger auf den Sand wirken, als alle übrigen gleichzeitigen Schwingungen und Wellenbewegungen an der Oberfläche des tönenden Körpers ([8]). Nur die Knotenlinien dieser letztern Art finden wir bei Chladni, weil er nur die tönenden Schwingungen untersucht hat.

b) von Seiten der *Richtung*, nach welcher die durch beiderlei Linien getrennten Theile schwingen. Nur von den Knotenlinien tönender Schwingungen wissen wir, dass 2 durch eine Knotenlinie getrennte Theile eben so, wie 2 durch einen Schwingungsknoten oder eine Knotenfläche getrennte Theile (s. oben), nach entgegengesetzten Richtungen schwingen ([9]).

c) von Seiten der *Töne*. Die Linien der zweiten Art finden sich in grosser Zahl bei Röhren, Streifen und Stäben, während sie ihren tiefsten Ton geben; auch ändert sich der Ton nicht, sie mögen mehr oder weniger dicht liegen; meistens liegen sie so dicht, dass, wenn man auch sie als Grenzen von entgegengesetzt schwingenden Abtheilungen annehmen will, diese Abtheilungen so schnell schwingen müssen, dass durch sie kein für uns hörbarer Ton mehr entstehen kann. Bei

---

7) Ebend. S. 287 f. Dass dieser Parallelismus der Bewegung bei allen Körpern Statt findet, deren Schwingungen durch einen andern schwingenden Körper erregt sind, ist durch viele Experimente, namentlich *Savart's*, ausser Zweifel gesetzt, s. *Biot* II. S. 109. 111 ff. — *Schweigger*: Jahrb. d. Chem. und Phys. Bd. 14. (44.) S. 405 ff. Bd. 21. (51.) S. 293. 303 f. 309 f. — *Baumgartner* S. 267 f. und Supplbd. S. 375. 8) *W. Weber* a. a. O. S. 287. 9) Vgl. ebend. S. 290 f.

Linien der erstern Art hingegen bringt der schwingende Körper Töne hervor, die desto höher sind, je grösser die Zahl der Linien ist ([10]).

Da dergleichen Knotenlinien auf *Stäben* und *Flächen* sich bilden, so müssen hier deren Schwingungsarten genauer entwickelt werden. Wir beginnen mit den *Stäben*.

§ 20.

Schwingungsarten der Stäbe.

Diese müssen wir zuvörderst nach ihrer Richtung eintheilen in *gerade* und *krumme*.

1) *Schwingungsarten gerader Stäbe.*

Diese Schwingungen sind, was zunächst ihre Qualität anlangt, entweder *primär* oder *secundär*.

a) Die *primären* Schwingungen sind

aa) *tangential longitudinale.* Hervorgebracht wird diese Schwingungsart, indem man den Stab der Länge nach mit einem Finger, oder mit einem Stückchen Tuch, oder mit einer andern weichen Materie streicht, die, wenn der Stab von Glas ist, mit Wasser benetzt und mit einem feinen, aber scharfen Sande, oder auch mit geriebenem Bimsstein bestreut wird, wenn aber der Stab von Holz oder Metall ist, trok-

---

10) Ebend. S. 291 ff. 295. Auch *Biot* vermuthet, dass jene Linien der zweiten Art gleichfalls Töne erzeugen, solche jedoch, die unser Ohr nicht vernehmen kann. Er sagt nämlich Bd. II. S. 58.: »Die Art, wie sich jeder Stab, oder vielmehr jede Fläche von selbst abtheilt, ändert sich nach der Stelle ab, an welcher man sie mit den Fingern berührt, um sie fest zu halten. In allen Fällen hört man nur einen einzigen vernehmlichen Ton, welcher der, durch die Berührung bedingten, Hauptabtheilungsart entspricht. Jedoch deutet die Vielfachheit der Knotenlinien darauf hin, dass zugleich andere Töne entstehen, deren Schwingungen schneller als die des vernommenen Tones geschehen. Nicht unwahrscheinlich dürfte die Annahme sein, dass die unvernommenen Töne lauter Glieder der Tonreihe, welche der Stab hervorzubringen vermag, darstellen, aber vom Ohr nicht wahrgenommen werden können, entweder weil sie zu hoch, oder weil sie zu schwach sind, oder auch, weil sie mit dem tiefsten Tone so verschmelzen, dass sie mit ihm nur Eine Empfindung hervorbringen«.

ken bleibt und mit Geigenharz oder anderm Harzstaube bestrichen wird, wie man denn auch vorher auf die Oberfläche des Stabes selbst Harz einreiben kann. Auch bewirkt man diese Schwingung dadurch, dass man mit einem kleinen Hammer oder andern festen Körper an das eine Ende in der Richtung der Länge schlägt ([1]). — Hierbei kommt die verschiedene *Haltung* des Stabes als einflussreich in Betracht. Bei den Saiten konnte dieser hier sehr wichtige Umstand deshalb nicht vorkommen, weil sie als Körper, die erst durch Spannung die zum Tönen nöthige Steifigkeit erhalten, stets an beiden Enden fest sind. Bei den Luftsäulen aber entspricht jener Haltung gewissermassen die verschiedene *Begrenzung* derselben (s. S. 117.). Bei den longitudinal schwingenden Stäben unterscheiden wir mit Chladni drei verschiedene Haltungen. Der Stab ist nämlich

α) entweder *an beiden Enden frei* (indem man ihn mit 2 Fingern an einer Stelle hält, wo eine Knotenlinie sich bildet, so dass seine freie Schwingung nicht gestört wird),

β) oder *an einem Ende frei, am andern befestigt,*

γ) oder *an beiden Enden befestigt.*

Welche Töne Chladni bei jeder dieser verschiedenen Haltungen fand, wird man zugleich mit dem gegenseitigen Tonverhältniss der letztern leicht in der folgenden, aus seinen einzelnen Angaben ([2]) von mir zusammen gestellten, nach den Tönen geordneten Tabelle überblicken, zu deren Verständniss ich

---

1) *Chladni* S. 104. — *Schweigger*: Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 397. Bd. 15. (45.) S. 301. — *Biot* II. S. 57. — *Baumgartner* S. 259. 2) Akust. S. 103—106. Die Gesetze der Longitudinalschwingungen eines Stabes machte *Chladni* zuerst in s. Schrift: Über die Longitudinalschwingungen der Saiten und Stäbe. (Erfurt 1796. 4.) bekannt.

noch Folgendes hier vorausschicke. Bei schwingenden Stäben ist (wie bei schwingenden Luftsäulen, s. oben S. 124 f.) ein an einem frei schwingenden Ende liegender Theil etwa nur halb so gross, als ein zwischen 2 Knotenlinien oder einer Knotenlinie und einem befestigten Ende liegender Theil ([3]), so dass man einen Theil der letztern Art als Inbegriff zweier Theile, deren jeder ungefähr die Grösse des an einem freien Ende liegenden hat, betrachten kann. Diese Betrachtungsweise hat (wie bei den schwingenden Luftsäulen) den Nutzen, dass wir einmal in den Stand gesetzt werden, das bei den Saiten (weil sie bei ihren Theiltönen stets in *gleiche* Theile sich eintheilen) bestehende Verhältniss zwischen den Theiltönen und der Länge der Theile, in welche sie sich schwingend eintheilen, mit einigen Modificationen auch auf Stäbe anzuwenden, indem man stets den an einem freien Ende liegenden kleinern Theil zum Maassstabe nimmt und die ganze Länge in ihm gleiche Theile eingetheilt sich denkt, und sodann eben auf diese Weise das Tonverhältniss der verschiedenen Schwingungsarten bei einerlei Haltung eines Stabes mehr begreift. Endlich dienen diese eingeklammerten Theilzahlen auch dazu, Jedem, auch ohne beigefügte Abbildungen, das gegenseitige Verhältniss der durch die Knotenlinien sichtbar getrennten Theile und die Lage dieser Knotenlinien erkennen zu lassen. So wird man z. B. aus den Theilzahlen 3 (4) der Reihe α) von selbst schliessen, dass der an beiden Enden freie Stab sichtbar in 3 Theile durch 2 Knotenlinien sich abtheile, deren jede von dem ihr nächsten freien Ende ungefähr um ein Viertel der ganzen Länge des Sta-

3) *Chladni* S. 103. und Tab. II. Fig. 28—33.

bes entfernt ist, so dass der zwischen beiden Linien enthaltene Theil ungefähr die Hälfte der Länge des Stabes beträgt, mithin als 2 Theile betrachtet werden kann, wodurch man die Theilzahl (4) erhält. Steht dagegen z. B. bei der Theilzahl 3 keine andere Theilzahl eingeklammert (wie in der Reihe *γ.*) so erkennt man daraus, dass diese 3 Theile einander ganz gleich sind. — Statt mit Chladni bei jedem Tone die Zahl der Knotenlinien anzugeben, nenne ich, in Übereinstimmung mit dem bei den Saiten beobachteten Verfahren, die Zahl der Theile (aus der Jeder selbst sogleich durch Subtraction von 1 die Zahl der Knotenlinien finden kann), und füge dieser da, wo einer oder mehrere, dem Obigen zufolge, als Doppeltheile zu betrachten sind, die auf dieser Betrachtungsweise beruhende, wenn auch nur in der Vorstellung existirende Zahl der Theile in Klammern bei. Diejenige Schwingungsart, bei der keine Knotenlinie sich bildet, bezeichne ich, wie oben bei den Saiten, durch 1. Alle diese Zahlen stehen über den Tonbezeichnungen. Dicht unter den letztern aber stehen die Zahlen, mit deren Quadraten die Töne jeder Reihe übereinkommen. — Um anzuzeigen, welcher Haltung des Stabes die Töne jeder einzelnen horizontalen Reihe zukommen, ist jeder der griechische Buchstabe vorgesetzt, der bei der obigen Aufzählung der verschiedenen Haltungen bei jeder derselben gebraucht wurde.

β)	1 C 1		2 (3) g 3		3 (5) $\bar{e}$ 5		4 (7) $\bar{b}$ — 7		5 (9) $\bar{\bar{d}}$ 9	
α)		2 c 2		3 (4) $\bar{c}$ 4		4 (6) $\bar{g}$ 6		5 (8) $\bar{\bar{c}}$ 8		6 (10) $\bar{\bar{e}}$ 10

	1		2		3		4		5
γ)	c		$\bar{c}$		$\bar{g}$		$\bar{\bar{c}}$		$\bar{\bar{e}}$
	2		4		6		8		10

Diese Reihen können von Jedem selbst leicht weiter fortgesetzt werden; denn ein Blick auf die oben bei den transversal schwingenden Saiten angegebenen Tonreihen lehrt, dass hier die nämliche Reihenfolge, jedoch mit dem Unterschiede Statt findet, dass der erste Ton hier der Reihe β, der zweite den Reihen α und γ, der dritte wieder β, der vierte α und γ, und so fort stets abwechselnd angehört. — Das bei $\bar{b}$ stehende (—) zeigt an, dass der Ton etwas tiefer als $\bar{b}$ sei. — Was die unter den Tonzeichen stehenden Zahlen betrifft, mit deren Quadraten die Töne einer Reihe, ihrem gegenseitigen Verhältnisse nach, übereinstimmen, so sind die bei α und γ angegebenen einmal deshalb mit Chladni gewählt, um das Dazwischenfallen der Töne der Reihe β zu veranschaulichen; sodann aber auch, weil sie bei der Reihe α mit den eingeklammerten Theilzahlen übereinstimmen. Ohne diese obwaltenden Gründe würden die Zahlen der natürlichen Reihenfolge 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w. bei α und γ eben so passend gewesen sein ([4]), und zwar bei γ um so mehr, da sie hier mit der Zahl der Theile übereinstimmen würden. — Endlich ersieht man aus der Tabelle zugleich, dass ein longitudinal schwingender Stab nur in der Haltung von β und γ ohne Knotenlinie zu schwingen vermag, und dass er in der von β den tiefsten Ton gibt, dessen er bei seinen Longitudinalschwingungen überhaupt fähig

4) *Fechner*: Repert. I. S. 268. gibt daher mit gleichem Rechte diese letztere Reihe als Verhältnisszahlen der Haltungen α und γ an.

ist; dass er dagegen in der Haltung α stets wenigstens Eine Knotenlinie bildet. Ist jener tiefste Ton bei einem so schwingenden Stabe ein anderer, als der in der Tabelle genannte, so ändern sich natürlich auch die folgenden Töne, ihr Verhältniss aber bleibt stets das dort angegebene.

Anmerkung. Die Tabelle zeigt, dass die Schwingungszahlen eines geraden Stabes in den beiden Haltungen, der an beiden Enden freien und der an beiden Enden festen, einander gleich sind; vgl. Chladni S. 106. — Biot II. S. 58. — Fechner: Repert. I. S. 268. und die von ihm S. 269. angeführte, für die Schwingungen beider Haltungen geltende Formel. So übereinstimmend aber hierin die Angaben Aller sind, so auffallend ist dagegen, dass über das Verhältniss dieser beiden Haltungen zu der, wo ein Ende frei, das andere fest ist, Poisson, Fechner's Angaben zufolge (a. a. O. S. 268 f.) gerade das Gegentheil von dem behauptet, was namentlich Chladni S. 105. als Resultat seiner Untersuchungen aufstellt, und wofür zugleich die Analogie der transversal schwingenden Stäbe und der gedeckten Pfeifen spricht. Nach Chladni ist der Grundton eines geraden Stabes, der an einem Ende frei, am andern befestigt ist, um eine Octave tiefer, als der eines an beiden Enden freien Stabes, steht also auch in demselben Verhältniss zu dem Grundtone eines an beiden Enden befestigten Stabes. Fechner hingegen stellt S. 268. aus Poisson's Mém. p. 452. den Satz auf: »Die Schwingungszahl des longitudinalen Grundtons eines geraden Stabes, der an einem Ende frei, am andern Ende befestigt ist, ist die doppelte von der, welche einem ebensolchen Stabe, der an beiden Enden befestigt ist, zukommt«, und gibt S. 269. für die longitudinalen Schwingungen eines geraden Stabes, der an beiden Enden frei, oder an beiden Enden befestigt ist, die Formel $N_{\prime} = \frac{\Omega}{2a}$, für die longitudinalen Schwingungen eines geraden Stabes, der an einem Ende frei, am andern Ende befestigt ist, die Formel $N_{\prime} = \frac{\Omega}{a}$ an, womit angezeigt wird, man finde die Schwingungszahl (N) des Grundtons (1) in der Zeiteinheit (z. B. einer Secunde), wenn man die Schallgeschwindigkeit (Ω) in der Zeiteinheit in demselben Stabe im erstern Falle durch die doppelte, im letztern aber durch die einfache Länge (a) desselben Stabes di-

vidirt. Diese Formeln stimmen, wie man sieht, mit dem zuvor mitgetheilten Satze ganz überein, da der die Schwingungszahl des Grundtons eines an einem Ende freien, am andern Ende festen Stabes anzeigende Quotient hiernach gleichfalls das Doppelte desjenigen Quotienten beträgt, der die Schwingungszahl des Grundtons eines an beiden Enden freien, oder an beiden Enden festen Stabes bestimmt. Da nun mit der Grösse der Schwingungszahlen die Tonhöhe in gleichem Verhältniss steht, so würde, diesen Angaben zufolge, der Grundton eines Stabes, der an einem Ende frei, am andern befestigt ist, um eine Octave höher sein, als der eines an beiden Enden freien, oder an beiden Enden befestigten Stabes. — Woher dieser Gegensatz rühre, vermag ich nicht anzugeben.

Bei den bisherigen Erörterungen der Longitudinalschwingungen nahmen wir nur Rücksicht auf die den Ton bedingenden Knotenlinien der einen Seite des Stabes, so wie sie Chladni beobachtet hat, bei denen stets 2 durch eine Knotenlinie von einander getrennte Theile nach entgegengesetzten Richtungen schwingen. Die neuern Untersuchungen Savart's und W. Weber's haben indess gezeigt, dass ausser diesen noch andere Linien auf so schwingenden Stäben sich bilden, nämlich

a) jene schon oben S. 139 ff. erwähnten Linien einer höhern Ordnung, die aus den dort angegebenen Gründen uns unvernehmbar sind ([5]);

b) ausserdem hat sich ergeben, dass, während auf der einen Oberfläche eines so schwingenden Stabes oder Streifens diejenigen Knotenlinien erscheinen, denen die Hauptabtheilungsart des Körpers entspricht und welche daher bei der obigen Anordnung nach Chladni allein ins Auge gefasst sind, auf der entgegengesetzten

5) S. die in Note 10. bezeichneten Stellen.

Oberfläche des Körpers Knotenlinien sich bilden, welche mitten inne zwischen den Linien jener andern Fläche liegen, mit diesen aber durch Zwischenlinien zusammenhängen, welche bei prismatischen Stäben auf den beiden Flächen der Dicke liegen. Auf diese Weise ergibt sich, dass sowohl cylindrische, als prismatische Stäbe, wenn man die Linien jeder Seite beachtet, bei ihren Longitudinalschwingungen schraubenförmige Linien bilden (6). Diese Thatsache hat man, so viel ich weiss, auf zweierlei Weise zu erklären versucht.

1) Biot schreibt die verschiedene Vertheilung der Knotenlinien der entgegengesetzten Oberfläche einer *Ungleichartigkeit der beiden Oberflächen* zu (7). Dass eine solche Ungleichartigkeit Statt finden könne, darf wohl nicht bezweifelt werden, da die neuern Entdeckungen über das Gefüge der Krystalle es sichtbar gemacht haben, dass selbst bei solchen Körpern, die unsern Sinnen sich als

---

6) *Savart* hat dergleichen Linien sowohl an frei schwingenden Stäben, als auch an solchen entdeckt, deren eines Ende befestigt ist, und ebenso darf man, nach Analogie der von ihm beobachteten an beiden Enden befestigten Darmsaite, welche longitudinal schwingend ebenfalls eine schraubenförmige Knotenlinie zeigte, annehmen, dass bei an beiden Enden befestigten Stäben ein Gleiches gelte. S. *Schweigger*: Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 389 ff. 396 ff., vgl. Bd. 15. (45.) S. 300 ff. — *Biot* II. S 57 f. — *Baumgartner* S. 260. — Demnach könnte es scheinen, als ob in der obigen Eintheilung der primären Schwingungen die *longitudinalen* mit Unrecht zu den *geradlinigen* gezählt seien. In Betreff der cylindrischen Stäbe ist dieses allerdings unrichtig, nicht aber in Hinsicht der parallelepipedischen, deren Knotenlinien wenigstens auf der obern und untern Fläche geradlinig sind, so dass die Linien dieser beiden Flächen nur durch die sie verbindenden (theilweise gekrümmten) Linien, welche an den Seitenkanten der Dicke erscheinen, die einer Schraubenlinie ähnliche Gestalt erhalten. Nur auf diese Linien vierseitig prismatischer Stäbe wurde bei der obigen Eintheilung Rücksicht genommen.

7) Er fügt nämlich Bd. II. S. 58. dem Berichte jener Erscheinung die Bemerkung bei: »Es scheint hiernach, als ob in solchen Streifen, ungeachtet sie sich für alle unsere Prüfungsmittel als homogen ergeben, doch eine Ungleichartigkeit der beiden Oberflächen Statt fände, so dass sie gewissermassen eine Vorder- und eine Kehrseite hätten, die durch die verschiedene Art, wie sie sich abtheilen, bemerklich werden.«

völlig stätige und gleichartige Massen darstellen, wie Glas, Metalle, Holz, dennoch im Innern nicht in allen Richtungen gleiche Spannung vorhanden sei. Man redet namentlich von drei verschiedenen, auf einander rechtwinkligen Achsen der Elasticität ([8]).

Anmerkung. Solche verschiedene Elasticitätsgrade verschiedener Theile eines Körpers zeigen sich nicht bloss bei dickern Körpern, sondern sogar bei *Saiten.* Dafür sprechen namentlich folgende 2 Thatsachen: 1) Den sorgfältigen Beobachtungen W. Weber's zufolge gibt eine und dieselbe transversal schwingende Saite (abgesehen von ihren Theiltönen) nicht bloss *einen* Grundton, sondern *zwei* — und vielleicht noch mehrere, die aber nicht beobachtet werden können, — die freilich meistens sehr nahe liegen und schwer zu unterscheiden sind; am leichtesten vermag man dieses bei starken und kurzen Saiten, weil bei diesen die Abweichung beider grösser ist, als bei feinen und langen Saiten. Diese beiden Grundtöne können nicht bloss nach einander, sondern auch zugleich hervorgebracht werden, wo sie dann auf das Gehör eine übele Wirkung hervorbringen. Auf diese mag sich die Redensart praktischer Musiker und Instrumentenbauer, »der Ton einer Saite sei unrein«, beziehen, mit der man nicht die andere, »der Ton einer Saite sei verstimmt«, verwechseln darf, da letztere so viel bedeutet, als das Tonintervall derselben zu einer andern sei unrein, s. Poggendorff: Annalen Bd. 28. (104.) S. 8f. 11 f. Die Ursache dieser Erscheinung kann zwar zum Theil in der Ungleichförmigkeit der Dicke liegen, weil, ungeachtet die Saiten bei ihrer Verfertigung durch das enge Loch eines Drahtzugs gezogen werden, dennoch die Dicke derselben nicht an allen Stellen dem Durchmesser des Loches, durch welches die Saite gezogen worden ist, genau entspricht (s. W. Weber: über die zweckmässige Einrichtung eines Monochords u. s. w., in Poggendorff's Annal. Bd. 15. (91.) S. 6.); aller Wahrscheinlichkeit nach aber liegt sie wenigstens zum Theil auch in der Ungleichheit der

---

8) *Savart*: Untersuchung über die Elasticität der regelmässig krystallisirten Körper, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 206 ff. und dessen Untersuchungen über das Gefüge der Metalle, ebend. S. 218 ff. — *Fechner*: Repert. I. S. 243 f. 294 f. — *Fischer*: üb. d. Grundlehren d. Akust., in d. Berlin. Abhandl. 1821. Phys. Kl. S. 118.

Elasticität der verschiedenen Theile der Saite; denn die Saiten sind keineswegs, wofür man sie gemeiniglich hält, als vollkommen beugsame Fäden, sondern, streng genommen, als elastische gespannte Stäbe zu betrachten (s. W. Weber in Poggendorff's Annal. Bd. 28. (104.) S. 9.). Mithin gilt, was die Erfahrung von der ungleichen Elasticität der Stäbe gelehrt hat, auch, wenigstens zum Theil, von den Saiten, und zeigt sich besonders da, wo, wie es bei kürzern und dickern Saiten der Fall ist, die Materie der Saite grössern Einfluss ausüben kann, als bei feinern und längern möglich ist. Ausserdem scheint mir für eine Ungleichheit der Elasticität 2) die von W. Weber bei seinem Monochord gemachte Beobachtung zu sprechen, dass, wenn eine senkrecht aufgespannte feine Eisensaite durch immer grössere Gewichte angespannt wird, bis sie endlich reisst, das am eingeklemmten Ende hängen bleibende Stück der Saite eine bleibende Ausbeugung erhält, welche bei jedem Versuche immer wieder auf dieselbe Weise entsteht. Zu einer solchen einseitigen Ausbeugung der Saite ist unter den nach allen Richtungen in der Horizontalebene vollkommen symmetrischen Umständen und Verhältnissen offenbar kein anderer Grund vorhanden, als dass die Saite an der Stelle, wo sie reisst, nicht im ganzen Querschnitt zugleich reisst, sondern dass die Theile der Saite auf irgend einer Seite derselben sich von einander zu trennen anfangen, und dass dieses Losreissen der einzelnen Längenfasern sich allmälig bis auf die gegenüberliegende Seite des Umrings der Saite fortsetzt (s. Poggendorff: Ann. Bd. 15. (91.) S. 15.). Dieses könnte aber nicht geschehen, wenn alle Längenfasern gleiche Elasticität besässen. Es möchte demnach die Meinung Biot's II. S. 18., ein durch einen Drahtzug gezogener Draht besässe eine vollkommen cylindrische Gestalt, eine homogene Beschaffenheit und gleiche Elasticität in allen seinen Theilen, nicht ganz begründet sein.

2) Poisson, Cauchy ([9]) und Baumgartner ([10]) betrachten jene Knotenlinien der entgegengesetzten Oberfläche als den *normalen Schwingungen* angehörend, welche stets mit den longitudinalen bei Stäben verbunden

---

9) S. den Auszug aus den Untersuchungen dieser Beiden in *Fechner*: Repert. I. S. 268 f. 10) Supplementbd. S. 363 f.

und von gleicher Dauer mit diesen sind, und dadurch einen wichtigen Unterschied zwischen diesen Schwingungen der Stäbe und den Longitudinalschwingungen der Saiten begründen, weil bei den letztern jene normalen Schwingungen nicht wahrgenommen werden.

Anmerkung. Eine solche Verbindung *longitudinaler* und *normaler* Schwingungen findet sich keineswegs bloss bei *Stäben*, sondern auch bei den *Luftsäulen* der Labialpfeifen, bei der gewöhnlich angewandten Art von Mundloch, wovon sich Savart durch entscheidende Versuche überzeugt hat, während man in der mathematischen Theorie der Labialpfeifen voraussetzt, die Schwingungen geschehen bloss parallel der Achse der Röhre, und senkrecht gegen diese finde keine Bewegung Statt. S. Fechner: Repert. I. S. 246. Ausserdem bietet auch die Wellentheorie des Lichtes eine Analogie zu dieser Erscheinung durch Fresnel's Nachweisung der auf die Richtung der Lichtstrahlen normalen Schwingungen der Äthertheilchen dar, s. Poggendorff's Annal. Bd. 12. (88.) S. 223. Bd. 26. (102.) S. 250. Diese Anmerkung sowohl als die vorige möge man zugleich als Nachträge betrachten zu dem, was oben über die Schwingungsarten der Saiten und der Luftsäulen gesagt ist.

Ausser den bisher erläuterten *tangential longitudinalen* Schwingungen sind in Betracht zu ziehen

bb) die *tangential transversalen.* Sie unterscheiden sich von jenen dadurch, dass nicht die Knotenlinien der einen Fläche zwischen denen der andern, sondern an beiden Oberflächen der Stäbe beständig einander gegenüber liegen (11). Zwei durch eine Knotenlinie getrennte Theile haben entgegengesetzte Bewegung (12). Der Ton dieser Schwingungsart pflegt derselbe zu sein, wie bei der longitudinalen und der normalen (13).

---

11) *Schweigger*: Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 401. 12) Ebend. 13) Diese Angabe über den Ton stützt sich auf folgende Stelle. *W. Weber* sagt in *Schweiggers*

cc) die *tangential schiefen.* Hierunter verstehen wir die, welche von Seiten ihrer Richtung zwischen den tangential longitudinalen und den tangential transversalen liegen. Der Ton dieser Schwingungsart wird derselbe sein, wie bei jenen andern tangentialen Schwingungsarten. Savart ([14]) fasst diese Schwingungsart mit der bei ee zu nennenden unter dem gemeinschaftlichen Namen »*schiefe Schwingungsarten*« zusammen; mir scheint es zweckmässiger, sie von einander zu trennen.

dd) die *normalen.* Diese können sowohl allein, als auch, wie bereits erwähnt ist, in Verbindung mit longitudinalen Schwingungen vorhanden sein; sie bestehen, wie alle primäre Schwingungen, in Verdichtungen und Verdünnungen, sind aber übrigens bis jetzt noch nicht genauer durch die Theorie bestimmt worden. In Betreff ihres Tonverhältnisses zu den eben erwähnten tangential transversalen Schwingungen haben Savart's, Wheatstone's und H. und W. Weber's Versuche dargethan, dass die durch normale Schwingungen erregten Wellen stärker und deutlicher sind, als die der letztern, und dass sie eben deshalb auch einen, wenn auch der Höhe nach gleichen, doch weit stärkern und hellern Ton geben, als diese ([15]).

ee) die *schiefen* Schwingungen liegen, so wie die Richtung der Stösse, wodurch sie hervorgebracht werden, zwischen denen liegt, wodurch normale und tangentiale Schwingungen entstehen, so auch von Seiten ihrer Tonstärke zwischen jenen beiden Schwin-

---

Jahrb. Bd. 13. (45.) S. 288.: »*Savart* hat keinen Zweifel gelassen, dass zwischen den von ihm genannten *tangentialen-longitudinalen*, *tangential-transversalen* und *normalen* Schwingungen kein wesentlicher Unterschied Statt finde, weil bei allen diesen drei Schwingungsarten der tönende Körper oft denselben Ton gibt«. 14) Ebend. Bd. 15. (45.) S. 279. 15) Ebend. Bd. 14. (44.) S. 411 f.

gungsarten, d. h. ihr Ton ist schwächer, als der von normalen, und stärker, als der von tangentialen Schwingungen hervorgebrachte, weil die Stärke der durch diese Schwingungsarten erregten Wellen in diesem Verhältniss zu einander steht, wie Savart's und Wheatstone's Versuche gezeigt haben ([16]).

Dass bei den Versuchen, wonach das eben erwähnte Verhältniss der tangentialen und normalen Schwingungen von Seiten ihrer Tonstärke festgestellt wurde, die so schwingenden Körper mittelbar, d. h. durch tönende Körper, z. B. durch eine schwingende Saite oder Stimmgabel, in Schwingung versetzt wurden, ändert bei diesen Bestimmungen nichts, obgleich sonst zwischen der mittelbaren und der unmittelbaren Erregung von Schwingungen wichtige Unterschiede obwalten ([17]), wie weiter unten wird gezeigt werden.

Es sind von den *primären* Schwingungen noch zu erläutern übrig

ff) die *krummlinigen* Schwingungen, welche Chladni *drehende* oder *rotatorische* genannt hat, Biot ([18]) aber lieber *spiralförmige* nennen will. Hervorgebracht werden dieselben am besten an cylindrischen Stäben, die eine recht glatte Oberfläche haben, durch ein fast eben solches Reiben, wie bei den Longitudinalschwingungen, z. B. mittelst eines nassen oder mit Colophoniumpulver bestreuten Lappens, den man mit zwei Fingern an diametral entgegengesetzten Stellen des Cylinders andrückt, aber nicht, wie bei der Erregung von Longitudinalschwingungen, nach der Richtung der Länge, sondern links

16) Ebend. 17) Vgl. S. 139 f. und § 30. 18) Bd. II. S. 60.

oder rechts um die Peripherie des Cylinders herumdreht. Auch an parallelepipedischen Stäben lassen sich solche Schwingungen durch Streichen mit dem Violinbogen in einer diagonalen Richtung hervorbringen ([19]).

Bilden sich bei dieser Schwingungsart Knotenlinien, so schwingen je zwei durch eine solche Linie getrennte Theile eben so, wie bei den Longitudinal- und Transversalschwingungen, nach entgegengesetzten Richtungen. Während nämlich der an der einen Seite der Knotenlinie befindliche Theil sich rechts dreht, dreht sich der an der andern Seite derselben liegende links, worauf der letztere wieder rechts sich dreht, jener aber links, und so abwechselnd fort ([20]). — Auch bei dieser Schwingungsart sind drei verchiedene Haltungen des Stabes zu unterscheiden; er ist

α) entweder *an beiden Enden frei*,

β) oder *an einem Ende frei, an dem andern befestigt*,

γ) oder *an beiden Enden befestigt*.

Die Arten, wie ein rotatorisch schwingender Stab bei diesen verschiedenen Haltungsweisen sich durch Knotenlinien abtheilen kann, sind dieselben wie bei den longitudinal schwingenden ([21]). Überhaupt stehen diese beiden Schwingungsarten einander sehr nahe, wie man schon daraus ersehen kann, dass auch die Knotenlinien longitudinal schwingender Stäbe schraubenförmig (s. oben S. 148.), mithin denen rotatorisch schwingender sehr ähnlich sind. Auch sind die Tonreihen drehender Schwingungen dieselben, wie bei den longitudinalen von Seiten des *ge-*

---

19) *Chladni* S. 110. 20) *Schweigger's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 286. Vgl. *Chladni* S. 155 f. 21) *Chladni* S. 110.

genseitigen Verhältnisses der Töne dieser Reihen, nicht aber von Seiten der *absoluten Höhe der Töne.* Denn bei cylindrischen und prismatischen Stäben, wo Breite und Dicke einander gleich sind, sind die Töne drehender Schwingungen nach Chladni (²²) und W. Weber (²³) *um eine Quinte tiefer*, als bei gleichartigen Longitudinalschwingungen. Bei grösserer Breite des Stabes aber ist der Ton noch tiefer, als eine Quinte (²⁴). Demnach würden im erstern Falle die Töne eines Stabes, dessen tiefster Ton, wenn er longitudinal schwingt, C ist, bei seinen drehenden Schwingungen nach den verschiedenen Haltungen, die hier durch die oben dabei gebrauchten griechischen Buchstaben bezeichnet werden, folgende sein:

β) I contra F 1		2(3) C 3		3 (5) a 5		4(7) $\overline{es}$ 7		5 (9) $\bar{g}$ 9		
α)	2 F 2		3 (4) f 4		4 (6) $\bar{c}$ 6		5 (8) $\bar{f}$ 8			6 (10) $\bar{a}$ 10
γ)	1 F 2		2 f 4		3 $\bar{c}$ 6		4 $\bar{f}$ 8			5 $\bar{a}$ 10

Die ganze Einrichtung dieser Tabelle ist der obigen bei den Longitudinalschwingungen gleich, es gilt daher von den über und unter den Tonbezeichnungen stehenden Zahlen ganz dasselbe, was dort gesagt ist. — Ausser dieser so grossen Ähnlichkeit der *drehenden* Schwingungen mit den *longitudinalen* bietet sich auch ein Vergleich derselben mit *transversalen*

22) Ebend. 23) *Schweigger's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 286. 24) *Chladni* S. 307. — *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 427.

dar. Es repräsentirt nämlich eine transversal schwingende Quadratscheibe, wenn sie zwei Knotenlinien bildet, die sich rechtwinklig so durchschneiden, dass dadurch die Scheibe in 4 kleine Quadrate zerlegt wird, die einfachste drehende Schwingungsart eines an beiden Enden freien Stabes, während diejenige Schwingungsart einer solchen Scheibe, wo zwei diagonale Knotenlinien sich durchschneiden, die einfachste transversale Schwingungsart eines an beiden Enden freien Stabes gewissermassen repräsentirt. Sehr merkwürdig ist nun, dass auch von diesen beiden transversalen Schwingungsarten einer Quadratscheibe die erstere *um eine Quinte tiefer* ist, als die letztere. Folglich steht in Hinsicht der Tonhöhe die erste drehende Schwingungsart, wenn die Breite des Rechtecks der Länge gleich ist, eben so weit von der ersten transversalen Schwingungsart, als, wenn die Breite sehr gering ist, von der ersten longitudinalen Schwingungsart ab ([25]).

Noch müssen zwei Eigenschaften, auf die im Bisherigen keine Rücksicht genommen ist, als auf die Art und somit auch auf den Ton dieser Schwingungen einwirkend hervorgehoben werden.

1) Die *Gleichmässigkeit* oder *Ungleichmässigkeit der Elasticität*: ob nämlich der Stab *nach allen Richtungen gleiche Elasticität* besitzt *oder nicht*, indem sich danach, wie Cauchy und Poisson ([26]) dargethan, verschiedene Bestimmungen ergeben;

2) die *Form*: ob der Stab *cylindrisch* oder *parallelepipedisch* ist, und bei den letztern kommt

25) *Chladni* S. 156. 26) Ersterer in s. Exercitations IV. p. 47 sqq., oder in d. Mémoires de l'Acad. IX. p. 119 sqq., Letzterer in d. Mém. de l'Acad. VIII. p. 455.; s. *Fechner*: Repert. I. S. 278 ff.

es wieder darauf an, ob Breite und Dicke desselben einander gleich, oder ob die Dicke sehr klein gegen die Breite ist. In wie weit diese Umstände auf die Schwingungen und deren Ton einwirken, zeigen die von Fechner ([27]) zusammengestellten Formeln.

Anmerkung. In Hinsicht des bei diesen Tonreihen zum Grunde gelegten Verhältnisses der *Tonhöhe drehender Schwingungen* zu der von *longitudinalen* stimmen die Akustiker nicht ganz überein. Nach Chladni und W. Weber ist das Verhältniss der longitudinalen zu den drehenden, wie 3 : 2, nach Poisson, (Traité de mécanique Tome II. p. 369. und Poggendorff's Annal. Bd. 13. (89.) S. 401. vgl. Seite 396.) vielmehr wie $\sqrt{10}$ zu 2. Dieses letztere Verhältniss, welches auch Baumgartner (Suppl. S. 364 f.) als das richtige annimmt, weicht indess von dem erstern kaum um ein Zwanzigstel ab. Das erstere Verhältniss gibt in Decimalbrüchen 1,5; das letztere 1,5811; Savart gibt 1,6668 an (s. Poggendorff's Annal. Bd. 13. (89.) S. 396. — Baumgartner Suppl. S. 364. — Fechner: Repert. I. S. 280.). In Töne übertragen, würden im ersten Falle die Töne drehender Schwingungen um eine reine Quinte, oder, nach der gleichschwebenden Temperatur (s. § 46.), um ein Weniges mehr, als eine Quinte; im zweiten Falle um etwas mehr, oder, nach der gleichschwebenden Temperatur, um etwas weniger, als eine übermässige Quinte; im dritten Falle um ein Weniges mehr, oder, nach der gleichschwebenden Temperatur, um etwas weniger, als eine grosse Sexte tiefer sein, als die Töne longitudinaler Schwingungen. Da aber, wie oben erwähnt ist, die Form des Stabes hier Einfluss auf den Ton hat, so fragt sich, auf welche Form, ob auf die cylindrische, oder auf die parallelepipedische, sich die obigen Angaben beziehen. Die Angabe Chladni's bezieht sich, seinen eigenen Worten zufolge, auf beiderlei Formen, so wie Savart's Angabe, nach Chladni's Äusserung (in d. Allgem. musikal. Zeitung, Leipzig 1824. Nr. 52. S. 842 f.), sich auf breite Streifen (lames) beziehen würde. Nach Fechner (Repert. I. S. 279 f.) aber beziehen sich alle jene Angaben, namentlich auch die von Savart und Poisson, auf die cylindrische Form. Höchst

27) A. a. O. I. S. 279 f.

befremdend ist das von ihm aus **Cauchy's** Exerc. IV. p. 63. a. a. O. S. 279. angeführte Verhältniss des Grundtones drehender Schwingungen zu dem longitudinaler bei parallelepipedischen Stäben: »die Zahl der drehenden Schwingungen für den Grundton eines nach allen Richtungen gleich elastischen parallelepipedischen Stabes verhält sich zum Grundton desselben longitudinal schwingenden Stabes wie 1,9364 : 1.« Hierin muss nothwendig ein Fehler enthalten sein, weil ja sonst der Grundton der drehenden Schwingung *fast eine volle Octave höher* sein würde, als der der longitudinalen. Auch die blosse Umkehrung 1 : 1,9364, wonach der erstere Ton vielmehr um *fast eine volle Octave tiefer* sein würde, als der letztere, möchte immer noch fehlerhaft bleiben.

Von den bisher erläuterten *primären* Schwingungsarten gehen wir über zu den

b) *secundären* oder *transversalen* Schwingungen der Stäbe. Erregt wird diese Schwingungsart an einem elastischen Stabe dadurch, dass man ihn an irgend einer Stelle so schlägt, reisst oder mit dem Violinbogen streicht, dass eine Beugung entsteht. Ist der Stab kein cylindrischer, sondern ein prismatischer, so kann jene Erregung der Schwingungen nach zweierlei Richtungen geschehen: entweder in der Richtung der *Breite* oder in der Richtung der *Dicke*. Jenachdem Ersteres oder Letzteres geschehen, erfolgt auch die Beugung des Stabes entweder in der Richtung der *Breite* oder der *Dicke*. — Wir unterscheiden bei diesen Schwingungen mit **Chladni** sechs verschiedene Arten der *Haltung* eines Stabes. Er ist nämlich

α) entweder *an beiden Enden frei*, indem er an einer Stelle, wo eine Knotenlinie ist, gehalten wird (s. darüber eine unten folgende Bemerkung),

β) oder *an einem Ende frei, am andern an einen festen Körper angestemmt*,

γ) oder *an einem Ende frei, am andern ganz fest*, z. B. in einen Schraubenstock eingespannt,

δ) oder *an beiden Enden an einen festen Körper angestemmt,*

ε) oder *an einem Ende an einen festen Körper angestemmt, am andern ganz fest,*

ζ) oder *an beiden Enden ganz fest.*

Auch hier habe ich die Töne, welche Chladni (28) bei jeder dieser verschiedenen Haltungen eines Stabes fand, aus seinen einzelnen Angaben, zur Erleichterung des Überblicks und der Vergleichung, in einer Tabelle zusammengestellt, die ich wie die frühern nach der Zahl der Theile geordnet habe, während Chladni die Schwingungsarten nach der Zahl der Knotenlinien geordnet hat. Wie bei den obigen Tabellen, so sind auch bei der folgenden die unter den Tonbezeichnungen stehenden Zahlen die Verhältnisszahlen, mit deren Quadraten die angezeigten Töne dieser Reihe übereinkommen, die über ihnen stehenden aber die Zahlen der Theile. Auch hier bezeichnet die nicht eingeklammerte Zahl die Theile, in welche bei der jedesmaligen Schwingungsart der Stab durch die bei Aufstreuung von Sand sich bildenden Knotenlinien eingetheilt wird.

Da aber auch bei so schwingenden Stäben ein an einem frei schwingenden Ende liegender Theil ungefähr nur halb so gross, als ein zwischen zwei Knotenlinien oder einer Knotenlinie und einem befestigten oder angestemmten Ende liegender Theil ist, so dass man einen Theil der letztern Art als Inbegriff zweier Theile, deren jeder ungefähr die Grösse des an einem freien Ende liegenden hat, betrachten kann, so ist auch hier jener Theilzahl eine aus dieser Betrachtungs-

28) Akust. S. 95 ff.

weise der grössern Theile hergeleitete zweite Theilzahl in Klammern beigefügt, aus den bereits bei den Longitudinalschwingungen S. 143 f. angeführten Gründen, welche ich daher hierbei nochmals nachzulesen bitte, um das dabei Beabsichtigte sich zum bessern Verständniss des Folgenden zu vergegenwärtigen. —

Hier wie oben erhält man die Zahl der Knotenlinien jeder Schwingungsart dadurch, dass man 1 von der nicht eingeklammerten Theilzahl subtrahirt. Demnach sind die Schwingungsarten, welche 1 als Theilzahl haben, solche, bei denen der ganze Stab ungetheilt, d. h. ohne Knotenlinie schwingt. — Auch bei dieser Schwingungsart bewegen sich stets 2 durch eine Knotenlinie getrennte Theile nach entgegengesetzten Richtungen. — Um anzuzeigen, welcher Haltung des Stabes die Töne einer Reihe zukommen, ist jeder Reihe der griechische Buchstabe vorgesetzt, der bei der obigen Aufzählung der verschiedenen Haltungen bei jeder derselben gebraucht wurde. Dass ich von jener Anordnung der Reihen bei der folgenden Tabelle abgewichen bin, hat seinen Grund in den Tönen und den sie erzeugenden Schwingungsarten. — Das einer Tonbezeichnung beigefügte + deutet an, dass der Ton etwas höher, das beigefügte — aber, dass der Ton etwas tiefer sei, als der durch das Tonzeichen angezeigte Ton. — Unter contra C in der Reihe γ steht deshalb keine Zahl, weil es keine in die Reihe der folgenden Zahlen hineinpassende gibt, mit deren Quadrate der Ton übereinstimmte. Zu dem ihm zunächst folgenden Tone dieser Reihe, gis, verhält er sich wie 1 : 6,3124, d. i. ziemlich wie das Quadrat von 2 zum Quadrate von 5 ([29]).

---

29) *Fechner* a. a. O. S. 273.

ζ)			1 gis 3				2 $\bar{\bar{d}}$ 5		
1 γ) contra C			2 (3) gis 3				3 (5) $\bar{\bar{d}}$ 5		
α)			3 (4) gis 3				4 (6) $\bar{\bar{d}}$ 5		
ε)				1 $\bar{d}$ 5		2(3?(*)) $\bar{b}$ + 9			3 (5?) $\bar{\bar{h}}$ — 13
β)		2 (3) d 5				3 (5) $\bar{b}$ + 9			4 (7) $\bar{\bar{h}}$ — 13
δ)	1 Fis 1				2 $\bar{fis}$ 2			3 $\bar{\bar{gis}}$ 3	

3 ζ) $\bar{\bar{\bar{d}}}$ — 7			4 $\bar{\bar{\bar{b}}}$ 9			5 $\bar{\bar{\bar{\bar{f}}}}$ + 11			6 $\bar{\bar{\bar{\bar{h}}}}$ — 13
4 (7) γ) $\bar{\bar{\bar{d}}}$ — 7			5 (9) $\bar{\bar{\bar{b}}}$ 9			6(11) $\bar{\bar{\bar{\bar{f}}}}$ + 11			7(13) $\bar{\bar{\bar{\bar{h}}}}$ — 13
5 (8) α) $\bar{\bar{\bar{d}}}$ — 7			6(10) $\bar{\bar{\bar{b}}}$ 9			7(12) $\bar{\bar{\bar{\bar{f}}}}$ + 11			8(14) $\bar{\bar{\bar{\bar{h}}}}$ — 13
ε)		4(7?) $\bar{\bar{\bar{gis}}}$ 17			5(9?) $\bar{\bar{\bar{\bar{dis}}}}$ + 21			6(11?) $\bar{\bar{\bar{\bar{a}}}}$ 25	
β)		5 (9) $\bar{\bar{\bar{gis}}}$ 17			6(11) $\bar{\bar{\bar{\bar{dis}}}}$ + 21			7 (13) $\bar{\bar{\bar{\bar{a}}}}$ 25	
δ)	4 $\bar{\bar{\bar{fis}}}$ 4			5 $\bar{\bar{\bar{\bar{d}}}}$ 5			6 $\bar{\bar{\bar{\bar{gis}}}}$ 6		

*) Das bei dieser und den folgenden eingeklammerten Theilzahlen dieser Reihe stehende Fragzeichen rührt daher, dass Chladni bei dieser Schwingungsart zwar ausdrücklich bemerkt, die Schwingungslinien derselben wichen von denen der übrigen Arten ab, aber leider diese selbst weder bei den Abbildungen, noch im Texte genauer bezeichnet, weshalb ich zu blossen Vermuthungen meine Zuflucht hier nehmen musste.

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass ein Stab bei 2 von den 6 möglichen Haltungen gar nicht ohne Knotenlinie schwingen kann, sondern wenn ein Ende frei, das andere angestemmt ist, wenigstens Eine, und wenn beide Enden frei sind, wenigstens zwei Knotenlinien bilden muss; ferner dass der tiefste Ton, welchen ein Stab überhaupt hervorzubringen vermag, derjenige ist, welchen er, während ein Ende frei, das andere fest ist, ohne Knotenlinie gibt. Bei dem Stabe, dessen Töne die obige Tabelle nennt, ist dieser tiefste Ton contra-C. Es bedarf wohl kaum bemerkt zu werden, dass, wenn dieser Ton, wegen einer andern qualitativen oder quantitativen Beschaffenheit des gewählten Stabes, ein anderer ist, auch sämmtliche Töne andere sein werden, als die Tabelle nennt, ihr gegenseitiges Verhältniss aber das nämliche bleibt, wie bei jenen.

Zu den bisher aufgestellten allgemeinen Schwingungsgesetzen transversal schwingender Stäbe fügen wir jetzt noch einige Bemerkungen hinzu, die sich auf ihre *Elasticität*, *Form*, *Haltung*, *Schwingungsarten*, *Knotenlinien*, *Schwingungslinien eines freien Endes*, *Töne* und ihren *musikalischen Gebrauch* beziehen.

1) Schon oben S. 137. ist erwähnt, dass ein parallelepipedischer Stab seine Transversalschwingungen entweder in der Richtung der Breite oder in der der Dicke mache. Bemerkenswerth ist, dass ein solcher Stab, der ebenso breit als dick ist, auch wenn er nach der Richtung der Breite

und der Dicke ungleiche *Elasticität* besitzt, dennoch bei beiderlei Richtungen seiner Transversalschwingung eine ganz gleiche Schwingungszahl hat, weil diese, bei longitudinal und transversal schwingenden Körpern bloss von der Elasticität nach der Richtung der Länge abhängt, wie Cauchy erwiesen hat ([30]).

2) Es ist durchaus nicht gleichgültig, welche *Form* ein schwingender Stab habe. Denn die Schwingungszahl, und somit auch der Ton, ist bei einerlei Haltung und Schwingungsart, wenn er parallelepipedische Gestalt hat, anders, als wenn er cylindrisch ist. Es verhält sich nämlich die Schwingungszahl und demnach auch die Tonhöhe eines parallelepipedischen Stabes zu der eines cylindrischen, wenn die Dicke des erstern gleich dem Radius des zweiten ist $= 1 : \frac{\sqrt{3}}{2}$, vorausgesetzt, dass Haltungsweise und sonstige Umstände bei beiden gleich sind ([31]). Man muss folglich, wenn man, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, von parallelepipedischen Stäben zu cylindrischen übergehen will, die Schwingungszahl der erstern, der Theorie nach, in dem Verhältnisse von $2 : \sqrt{3}$ vermindern. Macht z. B. ein parallelepipedischer Stab bei einer gewissen Haltung in einer Secunde 3265 Schwingungen, so wird ein ihm übrigens gleicher cylindrischer, dessen Radius gleich der Dicke des erstern ist, unter gleichen Umständen in derselben Zeit nur 2828 Schwingungen machen. Hieraus folgt, dass die oben angegebenen Tonverhältnisse der verschiedenen Haltungen und Schwingungsarten im-

---

30) Exerc. IV. pag. 20., s. *Fechner* a. a. O. S. 273.

31) *Fechner* a. a. O. S. 272.

mer nur bei Stäben von einerlei Form Statt finden ([32]).

3) Bei der Aufzählung der verschiedenen *Haltungen* eines Stabes wurde kurz erwähnt, dass ein Stab, *der an beiden Enden frei schwingen soll*, an Stellen, wo sich Knotenlinien bilden, gehalten oder hier auf Unterlagen gelegt werden müsse. Wir wollen jetzt etwas ausführlicher das Verfahren Chladni's, Faraday's, Strehlke's und W. Weber's hierbei angeben. Chladni hielt den Stab, wenn er bloss die Absicht hatte, die Lage der Knotenlinien einer Schwingungsart zu erfahren, an einer Stelle, wo sich dem Augenmasse und dem Gefühle nach eine Knotenlinie befindet, locker zwischen den Enden des Daumens und des zweiten oder dritten Fingers horizontal und strich, nachdem er etwas Sand oder Eisenfeile aufgestreut, denselben vorn mit dem Violinbogen in der erforderlichen Richtung. Wollte er den Stab in dieser Haltung, d. h ohne die freie Schwingung beider Enden zu beeinträchtigen, befestigen, so legte er ihn an den Stellen, wo Knotenlinien sich bilden, auf eine nicht allzu harte Unterlage, etwa auf dünne cylindrisch geschnittene Stückchen Kork und band ihn an derselben mit Fäden fest, nachdem er zuvor an diesen Stellen in die Kanten des Stabes kleine Vertiefungen eingefeilt, um die Fäden durch diese vor einer Verschiebung zu sichern ([33]). — So verfuhr er namentlich da, wo

32) *Fechner* S. 278.

33) S. s. Beyträge zur prakt. Akust. S. 27. 51 ff., wo sein Verfahren bei der Befestigung noch ausführlicher angegeben wird. *W. Weber* sagt (in *Poggendorff's* Annal. Bd. 28. (104.) S. 4.), *Chladni* empfehle zu diesen Unterlagen abgerundete Stückchen Kork oder Gummi elasticum; allein wenigstens an jenen Stellen ist nur von Kork die Rede, und S. 54. sagt *Chladni* ausdrücklich, elastisches Harz sei zur Unterlage zu weich und nachgebend.

er von so schwingenden Stäben einen praktischen Gebrauch machen wollte. Zu blossen Versuchen über Schwingungen solcher Körper empfiehlt er, den Stab an 2 Stellen, wo Knotenlinen sind, auf nicht allzu harte Unterlagen, z. B. auf 2 mit Tuch oder einer andern weichen Materie überzogene Stege, oder auf zusammengedrehtes Papier zu legen, und ihn zwischen 2 Knotenlinien oder an einem Ende zu schlagen oder zu streichen ([34]). — Faraday legte bei seinen Versuchen, wovon weiter unten die Rede sein wird, die Platten und Stäbe auf 2 dreiseitige, als Stege dienende Holzstücken ([35]). — Strehlke legte bei seinen bald zu erwähnenden Versuchen die Parallelepipeden auf hölzerne prismatische Stege, welche an den Berührungsstellen mit einem zusammengerollten Stücke Leder bedeckt waren ([36]). — W. Weber lässt, nachdem er a priori die Lage der Knotenlinien berechnet hat, an den Stellen der beiden äussersten Knotenlinien feine conische Vertiefungen einbohren, und klemmt dann den Stab mittelst derselben zwischen 2 festen Spitzen ein, bei welchem Verfahren derselbe, wenn man ihm den geringsten Schlag ertheilt oder ihn mit dem Violinbogen streicht, eben so vollkommen und eben so lange forttönt, wie eine angeschlagene Stimmgabel ([37]).

---

34) Akust. S. 98. Bei der unten zu nennenden *Strohfiedel* werden Stäbe oder schmale Streifen von Holz, Glas oder Stahl an den beiden Schwingungsknoten, die sich bei ihrer einfachsten Schwingungsart bilden, auf zusammengedrehtes Stroh oder andere weiche Unterlagen gelegt, und mit 2 Klöppeln geschlagen, s. ebend. 35) S. *Poggendorff*'s Annal. Bd. 26. (102.) S. 222. *Chladni* erklärt (in s. Beytr. z. prakt. Akust. S. 54.) das Holz für zu hart zur Unterlage. 36) S. *Poggendorff*'s Annal. Bd. 27. (103.) S. 530. — *Chladni* äussert a. a. O. S. 54.: »Leder habe ich als Unterlage nicht gut gefunden, weil der Klang dadurch schlechter wird.« 37) S *Poggendorff*'s Annal. Bd. 28. (104.) S. 4.

4) Die verschiedenen *Schwingungsarten* sind bereits in der obigen Tabelle von Seiten ihrer Knotenlinien und Töne charakterisirt. Hier nur die nachträgliche Bemerkung, dass man einen Stab, bei irgend einer Haltung, zu einer beliebigen Schwingungsart dadurch nöthigt, dass man ihn an einer Stelle, wohin bei der beabsichtigten Schwingungsart eine Knotenlinie fällt, mit einem Finger oder auf andere Art, z. B. mit der Kante einer festen Platte, gelinde berührt ([38]). Auf gleiche Weise verfährt man bei Saiten und andern klingenden Körpern.

5) Am meisten bedürfen die *Knotenlinien* noch einer ausführlichern Erläuterung, da im Obigen nur die *Zahl* derselben bei den einzelnen Schwingungsarten genau angegeben ist, ihre *Lage* aber nur im Allgemeinen dort bezeichnet werden konnte, und von ihrer *Gestalt* noch gar nichts erwähnt ist. Wir haben daher zuvörderst

a) ihre *Lage* noch genauer zu bestimmen, beschrän-

Tabelle für die Abstände der Knotenlinien vom schwingenden Stabes,

	Knoten-				
	2	3	4	5	6
Knotenlinie 1.	0,22416	0,13211	0,09444	0,07345	0,06010
2.	. . .	0,5	0,35845	0,27875	0,22807
3.	. . .	. . .	. . .	0,5	0,40913
4.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
5.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
6.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
7.	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .

38) *Chladni* S. 93. 99. 161. — *Biot* II. S. 34. 56. — *Baumgartner* S. 257.

schränken uns jedoch hierbei auf *diejenige Haltung* des Stabes, *bei welcher er an beiden Enden frei schwingt.* Chládni hat zur Aufsuchung derselben bloss empirische Regeln gegeben ([39]), denen allerdings die Berechnung derselben a priori, wegen ihrer Bestimmtheit, in der Theorie weit vorzuziehen ist, weshalb namentlich von W. Weber das letztere Verfahren empfohlen wird ([40]). Bei einer solchen Berechnung wird die in einer Abhandlung Euler's ([41]) enthaltene Gleichung zum Grunde gelegt; indess weichen die Resultate, welche hiernach Weber ([42]) für die Knotenlinien der 3 ersten Schwingungsarten und Strehlke ([43]) für die der 12 ersten Schwingungsarten erhielt, so weit die des Erstern mit denen des Letztern sich vergleichen lassen, etwas von einander ab, weshalb sie beide angeführt werden müssen. Zunächst folge hier die ausführlichere Tabelle ([44]) von Strehlke.

Ende eines an beiden Enden freien transversal dessen Länge = 1.

linien.						
7	8	9	10	11	12	13
0,05085	0,04407	0,03889	0,03479	0,03148	0,02874	0,02644
0,19298	0,16725	0,14757	0,13204	0,11946	0,10908	0,10035
0,34618	0,30002	0,26473	0,23686	0,21430	0,19567	0,18001
0,5	0,43333	0,38235	0,34211	0,30952	0,28261	0,26000
. . .	. . .	0,5	0,44737	0,40476	0,36957	0,34000
. . .	. . .	. . .	. . .	0,5	0,45652	0,42000
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	0,5

39) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 28. (104.) S. 3 f. Vgl. *Chladni*: Beytr. z. prakt. Akust.

Welcher Schwingungsart jede einzelne dieser senkrechten Columnen angehört, wird durch die darüber gesetzte Zahl der Knotenlinien angezeigt. Die erste Columne gehört dem Grundtone an, bei welchem sich 2 Knotenlinien bilden, deren jede, Strehlke's Rechnung zufolge, um 0,22416, nach W. Weber's Berechnung aber um 0,22440 der ganzen Länge des Stabes von dem ihr nächsten Ende entfernt liegt. Die zweite Columne gehört dem ersten Flageolettone an, wobei der Stab 3 Knotenlinien bildet, von denen eine um 0,5 der ganzen Länge des Stabes von jedem Ende desselben entfernt ist, folglich genau in der Mitte desselben liegt, jede der beiden andern aber nach Strehlke um 0,13205 der ganzen Länge des Stabes von dem ihr nächsten Ende entfernt ist, womit auch W. Weber übereinstimmt. Die dritte Columne ist die des zweiten Flageolettones, wobei 4 Knotenlinien vorhanden sind, von denen jede der beiden äussersten nach Strehlke um 0,09444, nach W. Weber um 0,09435 der ganzen Stablänge von dem ihr nächsten Ende, jede der beiden andern mehr nach der Mitte zu liegenden nach Strehlke um 0,35845, nach W. Weber um 0,35535 der ganzen Stablänge von dem ihr nächsten Ende entfernt ist. Hiernach

---

S. 50 f. 40) *Poggendorff's* Annal. a. a. O. S. 3 ff. 41) Investigatio motuum, quibus laminae et virgae elasticae contremiscunt, in d. Comm. Petrop. pro anno 1779. Die darin aufgestellte Gleichung, welche die Lage der Knotenlinien auf elastischen transversal schwingenden Stäben bestimmt, s. in *Poggendorff's* Annal. Bd. 28. (104.) S. 512. 42) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 28. (104.) S. 4. 43) S. s. Abh.: »Über die Lage der Schwingungsknoten auf elastischen geraden Stäben, welche transversal schwingen, wenn beide Enden frei sind«, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 27. (103.) S 505 ff., und den Nachtrag dazu ebend. Bd. 28. (104.) S. 512 f. 44) Sie findet sich a. a. O. Bd. 28. (104.) S. 513.

werden auch die folgenden Columnen leicht verständlich sein, da jede Zahl der links, neben der ersten Columne, stehenden senkrechten Zahlenreihe angibt, welcher Knotenlinie jede in einerlei horizontaler Reihe mit ihr stehende Zahl angehört, wobei die Knotenlinien stets von jedem Ende nach der Mitte zu gezählt werden, so dass die einem Ende zunächst liegende durch 1., die ihr zunächst folgende weiter einwärts liegende durch 2., die auf die letztere folgende noch weiter einwärts liegende durch 3. und sofort bezeichnet wird. Jede Zahl der Columnen zeigt die Lage zweier einander entsprechender Knotenlinien an; nur die letzte Zahl in jeder mit einer ungeraden Zahl von Knotenlinien, z B. 3, 5, 7 überschriebenen Columne macht hiervon eine Ausnahme, indem diese sich stets nur auf die *eine* mittelste bezieht, die überall um 0,5, d. h. um die Hälfte der ganzen Stablänge von jedem Ende entfernt ist. — Wird mit dieser Berechnung a priori die Erfahrung verglichen, so zeigt sich, Strehlke's Versuchen mit parallelepipedischen Stäben zufolge, eine bemerkenswerthe Abweichung, indem die einander entsprechenden Knotenlinien weder auf einerlei Seite, noch auch auf den verschiedenen Seiten gleiche Lage haben. Wie weit sich diese Abweichung erstreckt, wird man aus folgendem, jener Abhandlung entlehnten Beispiele ([45]) erkennen.

---

45) A. a. O. Bd. 27. (103.) S. 531. Die Fortsetzung dieser Tabelle, welche S. 532. steht, und die Resultate der Beobachtungen bei einer Schwingungsart mit 8, und bei einer mit 9 Knotenlinien enthält, habe ich hier weggelassen, da das Angeführte zum Belege hinreicht.

Versuche mit einem Parallelepipedum von gehärtetem Stahl,

5 Knoten-

	Erste Seite		Zweite Seite		Dritte
	1. Ende.	2. Ende.	1. Ende.	2. Ende.	1. Ende.
Knotenl. 1.	15l.,21	15l.,18	15l.,13	15l.,21	15l.,18
2.	57,34	57,48	57,37	57,54	57,37

6 Knoten-

Knotenl. 1.	12,46	12,41	12,41	12,52	12,44
2.	47,06	46,98	46,95	47,04	47,08
3.	85,12	84,99	84,96	85,01	85,09

7 Knoten-

Knotenl. 1.	10,41	10,55	10,55	10,61	10,58
2.	39,72	39,91	39,83	39,86	39,77
3.	71,69	72,04	71,86	71,89	71,85

Auf welche Knotenlinie sich jede Zahl bezieht, wird durch die zur Linken vorgesetzte Zahl der Knotenlinien ebenso, wie in der nächst vorhergehenden Tabelle angezeigt, indem 1. die einem Ende zunächst liegende, 2. die ihr zunächst folgende weiter einwärts liegende, 3. die auf die letztere nach einwärts folgende bezeichnet. Bei der Schwingungsart mit 5, wie bei der mit 7 Knotenlinien sollte zuletzt noch 103l.,96 als Bezeichnung der mittelsten Knotenlinie in der Tabelle angegeben sein. Da aber der Zweck derselben ist, nur die abweichenden Lagen der Knotenlinien anzugeben, so ist diese letzte von Strehlke weggelassen. Die Ursache dieser Abweichungen der Lage der Knotenlinien von der durch Rechnung gefundenen hat man theils in dem verschiedenen Grade der Elasticität, theils in einer Ungleichheit der Dicke des Stabes,

Länge = 207,92 Pariser Lin., Breite = 2,38, Dicke = 2,38.

linien.

Seite	Vierte Seite		Mittel.	Berechnet.	Differenz.
2. Ende.	1. Ende.	2. Ende.			
15l.,21	15l.,21	15l.,23	15l.,20	15l.,27	— 0l.,07
57,50	57,42	57,55	57,45	57,96	— 0,51
linien.					
12,46	12,46	12,46	12,45	12,49	— 0,04
46,92	46,98	46,95	47,00	47,42	— 0,42
84,84	84,99	84,90	85,00	85,06	— 0,06
linien.					
10,58	10,64	10,58	10,56	10,57	— 0,01
39,89	39,92	39,86	39,85	40,12	— 0,27
72,02	71,97	72,16	71,93	71,98	— 0,05

theils darin zu suchen, dass man bei der Berechnung den Einfluss, welchen die Breite des Stabes äussern kann, vernachlässigt ([46]). Dass namentlich die ungleiche Dicke einen sehr grossen Einfluss auf die Lage der Knotenlinien ausübt, indem dieselben um so weiter aus einander rücken, je dicker der Stab wird, und dagegen einander um so näher liegen, je dünner er wird, wird folgendes eben daher entnommene Beispiel lehren. Bei einem Stabe von 173l.,1 Länge, 2l.,2 Breite, der an einem Ende eine Dicke von 0l.,5, am andern Ende von 1l.,5 hatte, erhielt Strehlke durch Messung folgende Resultate bei 2 Schwingungsarten, deren eine 7, die andere 11 Knotenlinien hatte ([47])

46) Ebend. S. 535. 47) Ebend S. 536.

7 Knotenlinien.

	Dünnes Ende.	Dickes Ende.	Mittel.	Berechnet.	Differenz.
Knotenl. 1.	7l.,37	10l.,30	8l.,83	8l.,80	+ 0l.,03
2.	27,79	38,89	33,34	33,40	— 0,06
3.	51,56	68,58	60,07	59,91	+ 0,16

11 Knotenlinien.

Knotenl. 1.	4,49	6,59	5,54	5,44	+ 0,10
2.	16,57	24,82	20,70	20,68	+ 0,02
3.	30,64	44,04	37,34	37,10	+ 0,24
4	45,21	62,49	53,85	53,58	+ 0,27
5.	60,61	79,94	70,28	70,07	+ 0,21
6.	76,67	96,67	86,67	86,55	+ 0,12

So viel über die Lage der Knotenlinien an einem mit beiden Enden frei schwingenden Stabe. In Betreff der übrigen Haltungen fügen wir nur noch die Bemerkung hinzu, dass die blosse Anstemmung von der gänzlichen Befestigung in Hinsicht der Lage der Knotenlinien dadurch sich unterscheidet, dass die dem angestemmten Ende nächste Knotenlinie etwas weniger weit von demselben entfernt ist, als die dem befestigten Ende nächste von diesem Ende abliegt. Die Ursache hiervon liegt, nach Chladni (48), darin, dass durch eine gänzliche Befestigung eines Endes die Theile, welche diesem Ende nahe sind, verhindert werden, so frei zu schwingen, als wenn dieses Ende bloss gegen irgend einen festen Körper gestemmt wird.

Nach dieser Erörterung der *Lage* der Knotenlinien fassen wir ins Auge

48) Akust. S. 96.

b) ihre *Gestalt.* Gewöhnlich durchschneiden die Knotenlinien die Längenaxe des Stabes rechtwinkelig, mit Ausnahme der beiden äussersten, welche den Enden des Stabes am nächsten liegen. Diese sind, nach **Strehlke** ([49]), immer gegen die Enden concav. Aber auch die andern, mehr nach der Mitte zu gelegenen Knotenlinien nehmen nicht selten eine schiefe Lage an, welche dann, wenigstens der von ihm beigefügten Zeichnung zufolge, auch von den äussersten Knotenlinien angenommen wird. **Chladni** erwähnt nur, dass sich dieselben in Folge einer Unregelmässigkeit des Stabes auch als schiefe Linien zeigen, und dass man sie dann durch Biegung nach der Seite zu wo möglich in gerade zu verbessern suchen müsse ([50]). Bei einer solchen krummen oder schiefen Lage gelten die obigen Angaben der Entfernungen der Knotenlinien von den Enden natürlich nicht für die ganzen Linien, sondern bei den concaven nur für die 2 Punkte, an welchen jede Linie die Seitenkante berührt, bei den schiefen aber nur für den einen Punkt der Mitte, wo sich die Knotenlinien und die in Gedanken durch die Mitte des Stabes, der längern Seite desselben parallel, gezogene Linie durchschneiden ([51]).

Von diesen durch Aufstreuung von Sand oder Eisenfeilstaub sich auf den Flächen versichtbarenden *Knotenlinien* gehen wir über zu einer kurzen Betrachtung

49) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 27. (103.) S. 530. und Tab. IV. Fig. 6. und 7.
50) Beytr. z. prakt. Akust. S. 52. 51) S. *Strehlke* a. a. O. Bd. 27. (103.) S. 530.

6) der *Schwingungslinien eines freien Endes eines Stabes.* Diese sind von den Knotenlinien völlig verschieden. Die letztern nämlich sind bekanntlich Linien, welche, während die zu beiden Seiten derselben befindlichen Theile nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, selbst in Ruhe bleiben und sich auf die angegebene Weise versichtbaren lassen. Jene Linien aber, die ich hier *Schwingungslinien* nenne, sind die Bahnen, welche in schwingenden Stäben die Punkte der grössten Ausbiegung beschreiben, und welche meistens, durch die Combination mehrerer Schwingungsarten, die mannichfaltigsten und zierlichsten Gestalten annehmen. Diese schwingende Bewegung bleibt wegen ihrer Schnelligkeit für das Auge, ohne besondere Vorrichtung, unwahrnehmbar. Man versichtbart aber diese Schwingungsbahnen, wie Wheatstone lehrt, indem man dieselben durch einen hellglänzenden Punkt beschreiben lässt. Denn da er sie in einer Zeit, die kürzer ist, als die Dauer der Gesichtseindrücke, durchläuft, so macht er jede der Bahnen auf einmal ganz und als eine zusammenhängende Lichtlinie sichtbar. Da die Gestalt der Bahnen, ausser den Veränderungen, welche durch Beimischung von Schwingungsarten einer höhern Ordnung entstehen, auch durch die Gestalt des Stabes, durch die Grösse und die Erregungsart der Schwingungen, so wie durch eine Menge anderer Umstände abgeändert wird, so erhält man eine grosse Anzahl regelmässiger, unterhaltender Gestalten. Wenn man einen cylindrischen Stab, der mit einem Ende senkrecht in einer Platte befestigt ist, an dem frei schwingenden Ende aber mit einem das auf ihn fal-

lende Licht reflectirenden Knöpfchen versehen ist, so in Schwingung versetzt, dass er seinen tiefsten Ton geben muss, so sind die Schwingungen des freien Endes selten geradlinig, sondern meist mit kreisrunden Bewegungen verbunden. Wenn das eine Ende des Stabes durch einen Druck auf zwei gegenüberliegende Punkte befestigt ist, und der Stab in Richtung des Drukkes in Bewegung gesetzt wird, so ändern sich die Gestalten, welche das freie Ende beschreibt, nach und nach folgendermassen ab. Zuerst erscheint die Bahn als eine gerade Linie; unmittelbar darauf öffnet sie sich zu einer Ellipse, deren kleine Axe allmälig wächst, während die grosse Axe abnimmt, bis sie dadurch in einen Kreis übergeht. Nun wird, was zuvor die kleine Axe war, die grosse, und so wechselt die Bewegung fortwährend ab, bis sie durch beständiges Abnehmen an Grösse zuletzt unwahrnehmbar wird. — Setzt man den an einem Ende senkrecht befestigten Stab so in Schwingung, dass er eine oder mehrere Knotenlinien bildet, so zeigt das frei schwingende Ende ähnliche Erscheinungen, wie bei der ersten einfachsten Schwingungsart; aber die Ausbiegungen sind um so kleiner, je grösser die Anzahl der Knotenlinien ist. Schwingt ein auf diese Weise befestigter Stab so, dass er seinen Grundton und zugleich einen seiner höhern Theiltöne hervorbringt, so wird die ursprüngliche Figur (d. h. die, welche das frei schwingende Ende bildet, wenn der blosse Grundton erscheint) wellenförmig oder gezähnt. — Setzt man, statt eines cylindrischen Stabes, einen prismatischen Stab, den man an einem Ende befestigt, am freien Ende aber mit einem solchen

Knöpfchen, wie jenen, versehen hat, in der Richtung seiner Seitenflächen in Bewegung, so werden durch das freie Ende nur gerade Linien gebildet. Gibt man ihm aber eine schiefe Bewegung, so beschreibt dieses Ende eine grosse Menge zusammengesetzter Curven. — Um alle diese Figuren hell und deutlich zu erhalten, muss man nur ein einziges Licht anwenden, z. B. das Licht der Sonne, einer Lampe oder einer Kerze. Lichtstrahlen, die von mehreren Punkten ausgehen, machen die Bahnen breit und undeutlich. Zwei Lichter können jedoch mit Vortheil angewandt werden, wenn sie nur symmetrisch gestellt sind und gleiche Intensität besitzen. Das mit einem solchen Knöpfchen versehene freie Ende beschreibt dann 2 einander ähnliche Figuren. Im hellen Sonnenscheine sind die Erscheinungen ungemein lebhaft und glänzend. — Wheatstone hat, theils um die hier erwähnten Schwingungslinien zu versichtbaren, theils um in diese Figuren eine grössere Mannichfaltigkeit zu bringen, einen Apparat erfunden, den er *Kaleidophon* oder *phonisches Kaleidoskop* genannt hat ([52]).

Anmerkung. Die erste Beobachtung dieser Schwingungslinien verdanken wir, wie eine Anm. des Note 62. bezeichneten Aufs. S. 470 f. lehrt, dem Dr. Thomas Young. In den philos. Transact. für 1800 sagt er nämlich Folgendes: Man nehme eine der tiefsten, mit feinem Silberdrahte übersponnenen Basssaiten eines Pianoforte, und lasse durch eine schmale Öffnung im Fensterladen das Licht darauf fallen, so dass es, bei gehöriger

52) S. d. Abh.: »Beschreibung des Kaleidophon's oder phonischen Kaleidoscop's, von *C. Wheatstone*,« in *Poggendorff's* Annal. Bd. 10. (86.) S. 470 ff., welchem Aufsatze das hier über die Schwingungslinien Gesagte entnommen ist. Die dort beigefügte Taf. VI. Fig. 4. veranschaulicht den Apparat, und Figur 5—16. mehrere der durch die Schwingungslinien gebildeten Figuren.

Stellung des Auges, auf jeder Windung des Drahtes ein kleines, helles, wohl begrenztes Bild gebe. Bringt man nun die Saite zum Schwingen, so wird der erleuchtete Punkt seinen Weg wie eine glühende Kohle, die man herumschwenkt, beschreiben, und dem Auge eine Lichtlinie darbieten, die sich mit Hülfe eines Mikroskopes sehr genau beobachten lässt. Nach der verschiedenen Art, wie man den Draht in Bewegung setzt, ist die Form dieses Weges nicht weniger mannichfach und unterhaltend, als die der von Chladni entdeckten Figuren der Knotenlinien in schwingenden Scheiben, und sie ist noch interessanter, da sie sich mehr zu einer mathematischen Bestimmung zu eignen scheint. Ausführlich findet man den Aufsatz des Dr. Young in Gilbert's Annal. Bd. 22. S. 249 ff. 337 ff.

7) Auch zu dem oben über die *Töne* Erwähnten muss noch Einiges hinzugefügt werden:

a) Über die *Anzahl der Töne*, welche ein Stab zu geben vermag. Denn die in der obigen Tabelle aufgestellten Töne sind keineswegs ein vollständiges Verzeichniss aller Töne, die ein Stab, dessen tiefster Ton der dort beispielsweise angenommene ist, bei seinen verschiedenen Haltungen hervorzubringen vermag, sondern sie sollen nur das gegenseitige Verhältniss sowohl der Töne jeder einzelnen Haltung, als auch der Tonreihen der verschiedenen Haltungen zeigen, so dass dadurch die Frage: wie viel Töne ein Stab bei einer gewissen Haltung zu geben vermöge, noch nicht beantwortet ist. Aber auch hier kann dieses nicht geschehen, weil überhaupt keine absolute Grenze hierbei vorhanden ist; nur im Allgemeinen kann man sagen, dass, wenigstens bei gewissen Stäben, ihre Zahl sehr gross sein könne, wie Faraday's Versuche gezeigt haben ([53]).

b) Über *das Verhältniss der Töne transversal schwingender Stäbe zu denen longitudinal schwingender.* Da die Tonhöhe in geradem Verhältnisse mit der Schwingungszahl steht, so erkennt man das Verhältniss der Töne beider Schwingungsarten aus dem Verhältnisse ihrer Schwingungszahlen. Das Verhältniss der letztern haben Savart und W. Weber ([54]) an mehreren Stäben gezeigt. Um aber zugleich auch das Verhältniss der diesen Schwingungszahlen entsprechenden Töne leicht überblicken zu lassen, füge ich in der folgenden Tabelle den Schwingungszahlen jener Akustiker die von mir daraus berechneten Töne eingeklammert bei, zu deren Verständniss ich nur noch bemerke, dass, statt wie sonst, die verschiedenen Octaven durch die den Tonbezeichnungen vorgesetzten Wörter: *eingestrichen*, *zweigestrichen* u. s. w., oder durch darüber gesetzte Striche zu bezeichnen, hier, der Kürze und leichtern Übersicht wegen, Zahlen angewandt sind, so dass z. B. c^3 das dreigestrichene c, c^7 das siebengestrichene c u. s. w. anzeigt. Die beigesetzten Zeichen + oder — bezeichnen wie anderwärts, dass der Ton

53) Zur Bestätigung führe ich die hieher gehörende Stelle aus s. Abh.: »Über die Formen und Zustände, welche Flüssigkeiten auf vibrirenden Flächen annehmen«, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 222. an: »Bei andern Versuchen wurden fichtene Latten 2, 3 bis 4 Fuss lang, einen bis anderthalb Zoll breit und drei oder mehrere Achtelzoll dick, angewandt. Sie wurden durch Streichen eines (senkrecht in der Mitte der Latte aufgestellten) feuchten Glasstabes mit den Fingern in Vibration gesetzt, und gaben entweder durch Verschiebung der Stege (d. h. der untergelegten 2 dreiseitigen, als Stege dienenden Holzstücken), oder durch Vertauschung der Latten eine fast unbegrenzte Auswahl isochroner Vibrationen, von den den höchsten Tönen entsprechenden an, bis zu denen, deren nicht mehr als 5 oder 6 auf die Secunde gingen.«

54) Die des erstern findet man in *Poggendorff's* Annal. Bd. 13. (89.) S. 402., die des letztern ebend. Bd. 14. (90.) S. 175 f., und beide neben einander in *Fechner's* Repert. I. S. 277 f.

etwas höher oder etwas tiefer sei, als der durch das dabei stehende Tonzeichen angegebene. Bei Berechnung dieser Töne wurde die Annahme zum Grunde gelegt, dass das sogenannte grosse C 132, das ungestrichene c 264 Schwingungen in der Secunde mache (vgl. § 36.).

Stäbe, mit denen die Versuche angestellt wurden.	Longitudinalschwingungen in einer Sec. nach der Beobachtung.	Transversalschwingungen in einer Sec. nach der Beobachtung.	nach der Berechnung.
Par. von Messing $a=\frac{1}{8}$ ($0^m,825$) $h=3^{mm},92$	34133 (c^7+)	2667 (e^3+)	2668
Cyl. von Messing $a=\frac{1}{8}$ ($0^m,825$) $h=4^{mm},8$	34133 (c^7+)	2844 (f^3+)	2829
Cyl. von Kupfer $a=\frac{1}{8}$ ($0^m,825$) $h=3^{mm},4$	36864 (d^7-)	2133 (c^3+)	2164
Cyl. von Eisen $a=\frac{1}{8}$ ($0^m,88$) $h=5^{mm}$	45514 (f^7+)	3686 ($aïs^3-$)	3683
Par. von Glas $a=\frac{1}{8}$ ($0^m,967$) $h=6^{mm},4$	42667 (e^7+)	4608 (d^4-)	4645
Par. von Glas $a=\frac{1}{8}$ ($0^m,967$) $h=2^{mm},6$	42667 (e^7+)	1843 ($aïs^2-$)	1887
Par. von Holz (hêtre) $a=\frac{1}{8}$ ($0^m,8925$) $h=2^{mm},8$	40960 (dis^7+)	2048 (c^3-)	2114

Stäbe, mit denen die Versuche angestellt wurden.	Longitudinal-schwingungen in einer Sec. nach der Beobachtung.	Transversalschwingungen in einer Secunde nach der Beobachtung.	nach der Berechnung.
Par. von Messing $a=441,3$ Par. Lin. $h=4,827$ Lin.	4684 (d^4 —)	101,3 (contra G +)	105,3
Par. von Messing $a=451,8$ Par. Lin. $h=0,93$ Lin.	10480 (e^5 —)	334,7 (e +)	337,9

In dieser Tabelle, welche in der obern Abtheilung Versuche Savart's, in der untern 2 Versuche W. Weber's enthält, bedeutet Par. einen parallelepipedischen, Cyl. einen cylindrischen Stab, a die Länge, h die Dicke. Die *beobachteten* Schwingungszahlen sind die, welche aus den beobachteten 2 Grundtönen, dem longitudinalen und dem transversalen, des angegebenen, an beiden Enden frei schwingenden Stabes abgeleitet sind; die *berechneten* Schwingungszahlen dagegen rühren von Poisson her und sind nach folgenden von ihm aufgestellten Formeln ([55]) gemacht. Bezeichnet man die Länge eines Stabes mit a, die Schwingungszahl des longitudinalen Grundtones des an beiden En-

55) S. diese a. a. O. Bd. 13. (89.) S. 401 f. Er gibt dieselben ohne nähere Ableitung im Bulletin des sciences mathematiques IX. p. 29. In seiner Abhandlung in den Mém. de l'Acad. VIII. finden sie sich nicht wieder, da er hier die Schwingungen parallelepipedischer Stäbe nicht bestimmt hat, und für die daselbst bestimmten Schwingungen cylindrischer Stäbe statt der obigen p. 487. die Formel aufstellt: $n' = (3,5608\ldots)\frac{r}{a}n$, wo r den Radius des Cylinders bezeichnet.

den frei schwingenden Stabes mit n, die Schwingungszahl des transversalen Grundtones des an beiden Enden frei schwingenden Stabes mit n'; endlich mit h seine Dicke, im Fall er parallelepipedisch, oder seinen Durchmesser, im Fall er cylindrisch ist, so hat man

für einen parallelepipedischen Stab $n' = (2{,}05610)\frac{n\,h}{a}$,

für einen cylindrischen Stab $n' = (1{,}78063)\frac{n\,h}{a}$.

Von den zwischen den Parenthesen befindlichen Zahlen ergibt sich die zweite aus der ersten durch Multiplication derselben mit $\frac{1}{2}\sqrt{3}$. (S. das oben über den Einfluss der *Form* auf die Schwingungen Erwähnte.) — Die in der Tabelle bei Savart's Versuchen eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die Länge der Stäbe, an denen eigentlich die longitudinalen Schwingungen beobachtet wurden. Diese Länge betrug beinahe einen Meter (in der Tab. durch m bezeichnet, während mm dort Millimeter anzeigt). Diese Länge wurde auf ihr Achtel zurückgeführt durch das Gesetz, dass die Zahlen dieser Schwingungen sich umgekehrt wie die Längen verhalten. Mit diesem Achtel wurden die transversalen Schwingungen beobachtet. — Wie man sich die in der Tabelle erwähnten Abweichungen der durch Rechnung gefundenen Resultate von denen der Beobachtung zu erklären habe, möge man am angezeigten Orte ([56]) selbst nachlesen.

Übrigens muss noch angeführt werden, dass von jener Formel Poisson's die von Cauchy aufgestellte ([57]) abweicht, indem er statt der eingeklammerten Zahl 2,05610 die Zahl 2,055838 annimmt, so dass seine Formel lautet: $n' = (2,055838\ldots)\frac{h}{a}n$. Hiernach gibt Fechner ([58]) das Verhältniss beider Schwingungsarten so an: »Die Schwingungszahl des transversalen Grundtons eines *parallelepipedischen* Stabes verhält sich, wenn er an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist, zur Schwingungszahl des longitudinalen Grundtons desselben Stabes, wie die mit 2,055838 multiplicirte und mit der Länge des Stabes dividirte Dicke des Stabes zu 1.«, und nach der Note 65. erwähnten Formel Poisson's: »Die Schwingungszahl des transversalen Grundtons eines *cylindrischen* Stabes verhält sich, wenn er an beiden Enden frei oder an beiden Enden befestigt ist, zur Schwingungszahl des longitudinalen Grundtons desselben Stabes, oder auch eines andern Stabes, oder selbst einer Saite von gleicher Länge, Materie und Dichtigkeit, während Dicke und Gestalt der Querschnitte verschieden sein können, wie der mit 3,5608 multiplicirte und mit der Länge des Stabes dividirte Radius des Stabes zu 1«. Welches Verhältniss zwischen beiden Schwingungsarten bei andern Haltungen des Sta-

56) A. a. O. Bd. 13. (89.) S. 403 f. und *Fechner*: Repert. I. S. 277 f. 57) In s. Exercit. III. p. 271., s. *Fechner* a. a. O. S. 275. Die Verschiedenheit des Zahlencoëfficienten *Poisson's* rührt unstreitig daher, dass er nach einer andern Annäherungsformel berechnet ist. 58) Repert. I. S. 272 f.

bes obwalte, ergibt sich aus den Formeln Poisson's und Cauchy's, die Fechner zusammengestellt hat ([59]), und bei ihm selbst nachgesehen werden mögen.

c) Über die *Coëxistenz mehrerer Töne.* Hierbei sind zwei Fälle zu unterscheiden. Die von einem Stabe gleichzeitig hervorgebrachten Töne gehören nämlich

aa) entweder *sämmtlich den Transversalschwingungen an* ([60]). Schon S. 27. ist im Allgemeinen erwähnt, dass sowohl bei transversal, als auch bei longitudinal schwingenden Stäben mehrere Töne zugleich erscheinen können;

bb) oder *der eine gehört der Longitudinal-, der andere der damit gleichzeitig Statt findenden Transversalschwingung an*, da beiderlei und überhaupt die mannichfaltigsten Schwingungsarten in einem und demselben Körper zu gleicher Zeit vorhanden sein können, ohne dass sie einander stören ([61]).

8) Endlich ist auch noch von dem *musikalischen Gebrauche* transversal schwingender Stäbe Einiges zu sagen.

a) Von *an beiden Enden frei schwingenden Stäben* wird Gebrauch gemacht beim *Clavi-*

---

59) Ebend. S. 274 f. 60) Vgl. *Wheatstone's* Aufs. in *Poggendorff's* Annal. Bd. 10. (86.) S. 475. 478. 61) S. *Poisson*: traité de mécanique. Tome II. pag. 370. — *W. Weber* in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 295., wo beispielsweise angeführt wird, dass eine Glasröhre, die an ihrem einen Ende in der Richtung ihrer Länge angestossen wird, zugleich einen doppelten, von *primären* und *secundären* Schwingungen herrührenden, Ton geben kann. Dieses Beispiel kann insbesondere bei den Schwingungen von Stäben, als voller Beleg des Gesagten deshalb gebraucht werden, weil bei soliden Cylindern (cylindrischen Stäben) im Allgemeinen dieselben Gesetze gelten, wie bei hohlen.

cylinder, einem Instrumente, wo Stäbe oder schmale Streifen, vermittelst des Niederdrükkens der Tasten, einer sich umdrehenden Streichwalze mittelbar oder unmittelbar genähert, und durch deren Reibung zum Klingen gebracht werden; ferner beim *Euphon*, einem Instrumente, wo Klangstäbe (d. i. Stäbe oder schmale Streifen, die eigentlich den Klang geben) mit Streichstäben verbunden sind, und durch deren longitudinale Reibung mit den Fingern zum Klingen gebracht werden ([62]); und bei der sogenannten *Strohfiedel* oder *Strohharmonika* (*carillon, claquebois*, ital. *sticcato*), welche aus einer Anzahl von Stäben oder schmalen Streifen von Holz, Glas oder Stahl besteht, welche auf zusammengedrehtes Stroh oder andere elastische weiche Unterlagen gelegt sind und mit zwei Klöppeln, ungefähr so wie die Saiten des Hackebretts, geschlagen werden ([63]). Auch das *Sistrum* würde mit Chladni ([64]) hieher zu rechnen sein, wenn dieses Lieblingsinstrument der alten Ägyptier, welches noch jetzt in Ägypten und Habessinien gebräuchlich ist, mehr ein Klang-, als ein Ge-

---

62) Beide Instrumente hat *Chladni* erfunden und in s. Beyträgen zur praktischen Akustik ausführlicher beschrieben. 63) *Chladni* S. 98. u. Beytr. zur prakt. Akust. S. 8. — *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Strohfiedel S. 1449. Der Name *Strohfiedel* ist der gewöhnliche, den Namen *Strohharmonika* habe ich nur in dem sogleich zu erwähnenden Aufsatze gefunden. Wenn aber *Chladni* an der erstern Stelle sagt, man pflege bei ihr nur von der ersten Schwingungsart eines an beiden Enden freien Stabes Gebrauch zu machen, so findet dieses wenigstens, der Angabe zufolge, bei *Gusikow's* Strohharmonika nicht Statt, da dieselbe, obgleich nur aus 28 Holzstäben bestehend, dennoch einen Umfang von fünf Octaven haben soll, so dass nothwendig wenigstens ein Theil jener Stäbe mehr als Einen Ton geben muss. S. den Ausführlicheres über *Gusikow's* Instrument und dessen Spiel enthaltenden Aufsatz in d. Zeitschr.: »Das Ausland« Jan. 1837. Nr. 11. S. 41 f. »Bilder aus Paris. Nr. 1. Gusikow und seine Strohharmonika.« 64) Beytr. zur prakt. Akust. S. 8.

räusch-Instrument wäre. Es besteht aus einem metallenen in ovale Form gebogenen Reife, der einen Stiel zum Halten hat. Mitten durch diesen Reif gehen metallene Stäbe, die sich in weiten Löchern leicht hin und her bewegen, und beim Tanze oder bei einer andern absichtlichen Bewegung des Instruments mehr ein Geräusch, als bestimmte und unter einander in gewissen Verhältnissen stehende Töne hervorbringen ([65]).

b) Von *an einem Ende befestigten, am andern Ende freien Stäben* macht man einen praktischen Gebrauch bei der *Eisenvioline*, auch *Nagelgeige* oder *Nagelharmonika* genannt, welche aus eisernen (oder messingenen) Stiften besteht, die in ein Brett eingeschlagen sind und mit dem Violinbogen gestrichen werden ([66]), und bei dem *Nagelclavier*, einem Claviatur-Instrumente, bei welchem eiserne Stifte in einem Stimmstock festgeschlagen sind, die durch ein mit Colophonium bestrichenes leinenes Band gestrichen werden, welches vermittelst eines Schwungrades und Fusstrittes im Umtriebe erhalten wird, und über bewegliche kleine Rollen weggeht, die durch die an den Tasten befindlichen Tangenten den eisernen Stiften genähert werden ([67]).

---

65) *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Sistrum S. 1397. Aus dem angeführten Grunde rechnet auch *Forkel* das Sistrum nicht unter die musikalischen Instrumente, s. dess. Allgem. Gesch. d. Musik Bd. I. S. 420. Über ihren Gebrauch bei den Ägyptiern s. ebend. S. 84.; Schriften über dieselben s. S. 474., und die Abbildung Taf. III. Nr. 35. 66) *Chladni* S. 96. — *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Nagelgeige S. 1043. Dieses Bogeninstrument erfand der Kammermusicus *Johann Wilde* zu Petersburg gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts. 67) *Koch* a. a. O. u. d. W. Nagelclavier S. 1043. *Träger* zu Bernburg erfand dieses Instrument um d. J. 1791.

Ausser den hier genannten Instrumenten würde noch das *Trochleon* zu erwähnen sein, falls dieses mir bis jetzt ganz unbekannte Instrument aus geraden Stäben besteht. Biot sagt darüber in seinem hier öfters angeführten Lehrbuche der Experimental-Physik Bd. II. S. 62. nur Folgendes: »Man hat von der Schwingung der elastischen Stäbe eine Anwendung auf die Verfertigung eines musikalischen Instruments, welches den Namen *Trochleon* führt, gemacht. Eine ausführliche Beschreibung findet man in meinem grössern Werke, und seine Kenntniss erregt um so mehr Interesse, da man in ihm die vollständigste Anwendung aller, auf diese Schwingungsart bezüglicher, Resultate vereinigt sieht.«

Anmerkung. Alles, was hier von Schwingungen der Stäbe gesagt ist, bezieht sich bloss auf solche, welche nur eine geringe Breite haben, und deshalb keiner andern transversalen Schwingungen fähig sind, als der hier erwähnten, d. h. solcher, deren Knotenlinien die Längenaxe des Stabes rechtwinkelig oder schief durchschneiden. Etwas breitere Streifen gehören schon zu den länglichen Rechtecken, von denen weiter unten die Rede sein wird. Zwar können auch bei diesen solche Schwingungsarten eintreten, die nur Knotenlinien in der eben angegebenen Richtung zeigen, aber auch solche sind hier möglich, bei welchen Knotenlinien mit der Längenaxe parallel laufen, wie auch solche, in denen Knotenlinien, nach beiderlei Richtungen laufend, sich einander durchschneiden, wenn sich nicht im letztern Falle durch eine Verzerrung der Linien Curven bilden, die sich nach entgegengesetzten Richtungen krümmen. Denn die von Strehlke in der oben genannten Abhandlung in Poggendorff's Annal. Bd. 27. (103.) zu S. 537. gegebene, einem breitern Stabe angehörende Abbildung auf Taf. IV. Fig. 8. möchte ich, Chladni's unten zu erwähnender Ansicht zufolge, für eine solche Verzerrung einander durchkreuzender Knotenlinien halten.

§ 21.

2) *Schwingungsarten krummer Stäbe.*

Der Unterschied zwischen diesen und denen der geraden Stäbe beruht auf dem *Einflusse der Krümmung.* Dieser ist aber, jenachdem die Stäbe primäre (longitudinale) oder secundäre (transversale) Schwingungen machen, oder die Krümmung so oder anders gemacht ist, ein verschiedener. Nur auf die Eine Art der Krümmung, und zwar nur der transversal schwingenden Stäbe, bezieht sich das, was § 15. über den Einfluss der Krümmung im Allgemeinen gesagt ist.

Auch bei den krummen Stäben können alle jene verschiedenen Arten von Schwingungen Statt finden, die wir oben bei den geraden aufgezählt haben; allein die Untersuchung ist bei den krummen noch nicht so weit vorgeschritten, dass man das gegenseitige Tonverhältniss aller dieser Schwingungsrichtungen wüsste. Nur zwei Arten kennt man: die *longitudinalen* und die *transversalen*, und auch von diesen beiden die erstern erst durch die neuern Untersuchungen Savart's, Cauchy's und Poisson's, indem Chladni nur die transversalen erläutert hat. Wir beginnen auch hier mit

a) den *longitudinalen* Schwingungen, so weit dieselben durch jene berühmten Forscher bekannt gemacht sind. Durch sie kennen wir

aa) den *Einfluss des verschiedenen Grades der Krümmung auf die Tonhöhe* eines longitudinal, d. h. nach der Richtung der Krümmung schwingenden Stabes. Krümmt man einen elastischen Stab von gleichbleibender Länge so, dass er successiv die Gestalt von $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1 ganzen Umkreis annimmt, so ergeben sich, wenn er an beiden Enden frei ist, nach Cauchy (¹) folgende Bestimmungen:

α) Der Grundton, welchen der ganze Kreis gibt, stimmt mit dem zweiten Tone des halben Kreises überein und ist um eine Octave höher, als der Grundton des Viertelkreises.

β) Der zweite Ton des ganzen Kreises ist um eine Octave höher, als der erste Ton des halben Kreises.

γ) Der dritte Ton des ganzen Kreises ist um eine Octave höher, als der erste Ton des $\frac{3}{4}$-Umkreises.

δ) Der zweite Ton des Viertelkreises ist um eine Octave höher, als der erste Ton des Achtelkreises u. s. f.

Damit man das Tonverhältniss dieser verschiedenen Grade der Krümmung vollständiger überblikken könne, als es die eben angeführten Sätze gestatten, habe ich von den Tönen, welche ein Stab bei jenen verschiedenen Krümmungsgraden zu geben vermag, die 3 ersten, d. h. den Grundton nebst den ihm zunächst folgenden 2 Tönen, nach den von Cauchy gegebenen Formeln beispielsweise für einen der beiden parallelepipedischen Stäbe von Messing, welche Savart (2) bei seinen Versuchen gebrauchte, berechnet. Die Länge des hier gewählten beträgt 1,657 Meter. Um aber Jeden in den Stand zu setzen, sowohl meine folgenden Berechnungen zu prüfen, als auch selbst für irgend einen andern Stab Schwingungszahlen und Töne zu berechnen, führe ich zunächst jene zu Grunde gelegten Formeln selbst an (3).

---

1) Exerc. III. p. 285., s. *Fechner*: Repert. I. S. 268 f. 2) S. *Fechner* a. a. O. S. 271. 3) Man findet sie bei *Fechner* a. a. O. S. 270.

Bogen, welchen der Stab bildet.	Schwingungszahlen für den Grundton.	zweiten Ton.	dritten Ton.
Ganzer Umkreis	$\frac{\Omega}{2\,a}\sqrt{5}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\,2\sqrt{2}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\sqrt{13}$
$\frac{3}{4}$ »	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{\sqrt{13}}{2}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{\sqrt{51}}{2}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{3\sqrt{5}}{2}$
$\frac{1}{2}$ »	$\frac{\Omega}{2\,a}\sqrt{2}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\sqrt{5}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\sqrt{10}$
$\frac{1}{4}$ »	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{\sqrt{5}}{2}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{\sqrt{17}}{2}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{\sqrt{37}}{2}$
$\frac{1}{8}$ »	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{\sqrt{17}}{4}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{\sqrt{65}}{4}$	$\frac{\Omega}{2\,a}\,\frac{\sqrt{145}}{4}$

Die Schwingungszahl des Grundtons eines an beiden Enden freien geraden Stabes wird durch die Formel $\frac{\Omega}{2\,a}$ gefunden, d. h. dadurch, dass man die Schallgeschwindigkeit (Ω) in der Zeiteinheit (z. B. einer Secunde) in demselben Stabe durch die doppelte Länge (a) desselben Stabes dividirt. Diese durch $\frac{\Omega}{2\,a}$ bezeichnete Schwingungszahl des Grundtons eines an beiden Enden freien geraden Stabes beträgt für den bezeichneten Stab nach Savart ([4]) 2133,33, folglich ist sein longitudinaler Grundton, wenn er an beiden Enden frei und gerade ist, $\overset{=}{c}$ +. Dieser und den folgenden Tonbestimmungen liegt die Annahme zum Grunde, dass das ungestrichene c 264 Schwingungen in der Secunde mache. Die beigefügten Zeichen + oder — zeigen an, dass der Ton etwas höher oder etwas tiefer sei, als der durch das Tonzeichen angegebene.

4) S. *Fechner* a. a. S. 271.

Bogen, welchen der Stab bildet.	Die 3 ersten Töne nebst ihren Schwingungszahlen in einer Sec.					
	Grundton.	Schwingungsz.	2ter Ton.	Schwingungsz.	3ter Ton.	Schwingungsz.
Ganzer Umkreis	d +	4784,41	fis +	6033,05	aïs +	7690,65
$\frac{3}{4}$ »	aïs +	3845,32	e +	5333,32	a +	7174,38
$\frac{1}{2}$ »	fis +	3016,52	d +	4784,41	gis +	6745,58
$\frac{1}{4}$ »	d +	2385,62	cis —	4397,85	g +	6487,45
$\frac{1}{8}$ »	cis —	2198,82	c +	4298,65	g —	6221,32

Demnach wird bei einem longitudinal schwingenden Stabe der Ton durch Krümmung desselben erhöht, und zwar desto mehr, je grösser die Krümmung ist.

bb) Ferner haben Poisson und Cauchy ([5]) gezeigt, dass, wie die Longitudinalschwingungen gerader Stäbe, so auch die der kreisförmig gebogenen, stets von normalen Schwingungen gleicher Dauer begleitet sind, indem auch Stäbe der letztern Form an ihren verschiedenen Punkten abwechselnd anschwellen und sich verdünnen. Auch hier liegen die Knotenlinien der einen Fläche des Stabes, welche diesen normalen Schwingungen entsprechen, in der Mitte zwischen denen der entgegengesetzten Fläche, welche den longitudinalen Schwingungen zugehören (vgl. was darüber oben bei den Longitudinalschwingungen gerader Stäbe gesagt ist).

In weiterem Umfange als diese Longitudinalschwingungen krummer Stäbe kennen wir, besonders durch Chladni,

5) Ersterer in d. Mém. de l'Acad. VIII. p. 439. 452., Letzterer in s. Exerc. III. 268. 326.; s. *Fechner* a. a. O. S. 269.

b) die *transversalen* Schwingungen derselben. In Betreff der Erregung dieser Schwingungen bei solchen Stäben wird von Chladni ([6]) folgende Regel gegeben: »Bei allen Arten der Biegung, die man einem klingenden Körper geben kann, ist zu bemerken, dass die Stelle des klingenden Körpers, welche durch Streichen mittelbar oder unmittelbar in Bewegung gesetzt werden soll, dem nächsten Schwingungsknoten (in gerader Linie betrachtet) nicht gar zu nahe sein darf, weil sonst der Klang sich gar zu schwer, oder wohl gar nicht hervorbringen lässt.« — Auch hier müssen wir zuvörderst die verschiedenen Arten der Krümmung erwähnen, deren Einfluss auf den Ton untersucht ist. Man überblickt dieselben wohl am leichtesten in folgender Eintheilung:

aa) Stäbe, die *an den Enden gekrümmt* sind;

bb) Stäbe, die *bloss in der Mitte oder nahe bei derselben gekrümmt* sind;

cc) Stäbe, die *ihrer ganzen Länge nach gekrümmt* sind.

aa) *Stäbe, die an den Enden gekrümmt sind.*

Hier treten wieder verschiedene Fälle ein, jenachdem

α) die Enden mehr oder weniger nach innen gebogen sind, und

β) diese Krümmung sich mehr oder weniger weit nach der Mitte hin erstreckt.

In der grossen Mannichfaltigkeit der hier möglichen Fälle liegt wohl der Grund, warum bis jetzt noch nicht der Einfluss jedes einzelnen Grades einer solchen Biegung auf den Ton ermittelt ist, sondern von Chladni nur im Allgemeinen gesagt wird: »Der tiefste Ton eines geraden Stabes wird durch Biegungen erhöht oder erniedrigt, jenachdem die beiden Schenkel mehr

6) Beytr. z. prakt. Akust. S. 26.

oder weniger niedrig gebogen werden, oder jenachdem die Biegung mehr oder weniger nach der Mitte zu geschieht (7)«, und: »Bei convergirend gebogenen Stäben kann auch einige Veränderung der Biegung etwas beitragen, um die Töne tiefer oder höher zu stimmen, indem durch mehreres Auswärtsbiegen der Ton erniedrigt, und durch mehreres Einwärtsbiegen erhöht wird (8)«. Fasst man hierbei zugleich ins Auge, dass Biegung des Stabes in der Mitte seinen Ton erniedrigt (s. das folgende bb), so ergibt sich aus jenen Sätzen:

α) dass *Biegung eines Stabes an den äussersten Enden den Ton desselben erhöht, und zwar in dem Grade, in welchem die Biegung selbst, nicht von Seiten ihres Umfangs, sondern von Seiten der Krümmung zunimmt.*

β) dass *Biegung eines Stabes nach der Mitte zu seinen Ton erniedrigt, und zwar in dem Grade, in welchem dieselbe der Mitte des Stabes sich nähert, mithin an Umfang zunimmt.*

Von diesen beiden entgegengesetzten Wirkungen beruht die zweite mit der bei bb zu erwähnenden Wirkung der Biegung der Mitte auf einerlei Grunde. Die erste dagegen, bei α genannte, kann, wie mir scheint, nur durch die Annahme erklärt werden, dass, je stärker der Grad der Krümmung ist, desto mehr das gekrümmte Ende eigentlich nur als ein Anhängsel anzusehen ist, das ausser einiger Verzögerung der Schwingungen wenig Wirkung thut, so dass hiernach eine Biegung der äussersten Enden, je stärker sie ist, desto mehr als eine Art von Verkürzung der Stablänge betrachtet werden kann, wovon die Erhöhung des Tones eine nothwendige Folge ist, da die Schwingungs-

7) Beytr. z. prakt. Akust. S. 25. 8) Ebend. S. 58.

zahl, und somit auch die Tonhöhe, mit der Länge des schwingenden Körpers in umgekehrtem Verhältniss steht. Für diese Erklärung scheint erstens der Umstand zu sprechen, dass der Ton durch eine S-förmige Biegung der Enden noch mehr erhöht wird, da z. B. ein Stab, der, wenn seine Enden bloss nach innen zu gebogen sind, nur noch das ungestrichene g gut, das ungestrichene gis und a hingegen sehr schwer und stumpf hervorbringt, beide Töne gut erzeugt, wenn man seine Enden S-förmig biegt ([9]). Durch diese Biegungsart scheint nämlich die transversale Schwingung dieser Enden noch mehr erschwert, folglich die den Ton bestimmenden Schwingungen noch mehr auf den nicht gebogenen Theil des Stabes beschränkt zu werden. Ferner spricht dafür die bei cc zu erwähnende Erfahrung Chladni's bei einem spiralförmig gebogenen Stabe.

Diesem fügen wir noch einige Bemerkungen bei über *Gestalt*, *Knotenlinien*, *Töne* und *praktischen Gebrauch* dieser Art krummer Stäbe.

1) Ihre *Gestalt* ist zwar bereits im Allgemeinen bezeichnet, allein sie ist bei der grossen Menge der möglichen Biegungsarten vieler Modificationen fähig. Wir beschränken uns auf die Anführung folgender. Der an seinen Enden gekrümmte Stab ist entweder *offen oder geschlossen.* Der erstere entspricht derjenigen Haltung eines Stabes, wo beide Enden frei sind, der letztere dagegen derjenigen, bei welcher beide Enden angestemmt sind. Zu den geschlossenen krummen Stäben dieser Art gehören namentlich die *elliptischen*, weil bei diesen die Mitte des Stabes keine Biegung erlitten hat. Auch den *Triangel* ([10]) kann

9) Beytr. z. prakt. Akust. S. 93 f.

10) Über beide Gestalten vgl. ebend. S. 26.

man hieher rechnen, sofern auch bei diesem die Mitte gerade geblieben ist. — Die *offenen* Stäbe dieser Art theilt Chladni in *einfach gekrümmte* und *doppelt gekrümmte* ([11]). Unter den erstern versteht er z. B. solche, deren Enden so gebogen sind, dass man sie mit der untern Hälfte des Umrisses eines Topfes vergleichen kann; unter den letztern aber solche, deren eines Ende, welches länger ist, als das andere, ausser der Biegung, die das andere Ende erlitten, noch eine zweite erhalten hat, indem das Stück, womit es über das andere Ende emporragt, gabelförmig umgebogen ist.

2) Die *Knotenlinien* der offenen Stäbe jener Art sind von 2 Seiten zu betrachten;

a) von Seiten ihrer *Zahl*. Diese, so wie die dadurch bedingten Schwingungsarten kommen übrigens ganz mit denen der Gabeln überein ([12]); nur darin sind sie von diesen verschieden, dass auch Schwingungen mit *drei* Knotenlinien Statt finden ([13]), was bei den Gabeln nicht möglich ist (s. unter bb).

b) von Seiten ihrer *Lage*. Diese muss hier deshalb noch besonders in Betracht kommen, weil sie sich nicht, wie bei den geraden Stäben, aus der Zahl berechnen lässt, indem die Biegung die Lage der gegen die Mitte zu liegenden Knotenlinien verändert. Sie werden nämlich dadurch einander genähert, und zwar um desto mehr, je näher die Biegung nach der Mitte zu geschieht und je mehr die Theile gegen einander gebogen werden. Wenn die beiden Enden

---

11) Ebend. S. 163. 168. 12) Ebend. S. 25. 13) Ebend. S. 163. und Tab. V. Fig. 56.

beinahe zusammentreffen, und noch mehr, wenn das eine Ende ein wenig über das andere hervorragt, können die beiden nach der Mitte zu liegenden Knotenlinien einander sehr nahe kommen (14).

3) Über die *Töne* der offenen Stäbe jener Art soll hier nur erwähnt werden, dass an denselben mit dem Grundtone nicht selten ein höherer Ton mitklingt. Dieser ist am gewöhnlichsten die Quinte der Octave, bisweilen auch wohl dritthalb Octaven höher, als der Grundton, und rührt von einer andern gleichzeitig mit der des Grundtons Statt findenden Schwingungsart her. Das Merkwürdigste dabei ist, dass dieser höhere Ton manchmal eben so stark, oder auch wohl noch stärker, als der tiefere, andere Male dagegen kaum recht deutlich vernehmbar ist (15).

4) *Praktischer Gebrauch* wird von beiden Arten jener krummen Stäbe gemacht. Denn

a) die *offenen* krummen sind zu den von Chladni erfundenen Instrumenten, *Euphon* und *Clavicylinder*, eben so passend, ja in gewissen Fällen noch passender, als die geraden (16).

b) Von den *geschlossenen* krummen Stäben wird bekanntlich der *Triangel*, wenn auch nicht als eigentlich musikalisches, doch als Schlaginstrument gebraucht (17).

bb) *Stäbe, die bloss in der Mitte oder nahe bei der Mitte gebogen sind (Gabeln).*

Da unter allen Arten der Stäbe von dieser der häufigste praktische Gebrauch gemacht wird, so sind eben

---

14) Ebend. S. 25. und Tab. I. Fig. 8. 15) Ebend. S. 64. 16) Ebend. S. 89 ff. 109 ff. 163 ff. und Tab. II — V. 17) Über seine Einrichtung, die indess als allgemein bekannt, keiner Beschreibung bedarf, s. *Koch*: mus. Lex. S. 1588. u. d. W.

deshalb auch die verschiedenen Erscheinungen, welche sie darbietet, am meisten untersucht. Bevor wir jedoch von diesen eine Übersicht geben, ist der *Einfluss der Biegung der Mitte eines geraden Stabes auf die Lage seiner Knotenlinien und auf seine Tonhöhe* kurz darzulegen.

1) Beachten wir, der Kürze wegen, hier bloss die beiden *Knotenlinien*, welche ein gerader, an beiden Enden frei schwingender Stab bei seinem Grundtone bildet, deren jede ungefähr um den vierten Theil der Länge des Stabes von dem ihr nächsten Ende entfernt liegt, so zeigt sich, dass bei einer Biegung der Mitte die beiden Knotenlinien um so mehr einander genähert werden, je mehr die beiden Enden des Stabes einer parallelen Lage sich nähern, und endlich, nachdem die Enden diese Lage erreicht haben oder noch enger zusammengebogen sind, einander so nahe liegen, dass sie ohne gehörige Aufmerksamkeit für eine einzige Knotenlinie gehalten werden könnten ([18]).

2) Der tiefste *Ton* des geraden, an beiden Enden freien Stabes wird bei dieser Biegung immer niedriger, und ist endlich, nachdem die beiden Enden einander parallel geworden oder noch mehr einander genähert sind, fast eine kleine Sexte oder eigentlich wohl eine übermässige Quinte tiefer, als der tiefste Ton, den derselbe Stab, als er noch gerade war, an beiden Enden frei schwingend hervorbrachte, zu dem er sich wie 16 : 25 oder $4^2 : 5^2$ verhält ([19]). Bei den höhern Tönen aber, wo 4 oder mehr Knotenlinien bei dem geraden, an

18) *Chladni* S. 111. und Tab. III. Fig. 37. 38. 41. und Beytr. z. prakt. Akust. S. 22. und Tab. I. Fig. 5. 6. 19) *Chladni* S. 112. und Beytr. z. prakt. Akust. S. 23.

beiden Enden freien Stabe und bei der Gabel sich bilden, vermindert sich, wie bereits S. 102. erwähnt ist, diese Differenz. Die Ursache dieser Vertiefung des Tones findet Chladni in dem Zusammenrücken jener beiden Knotenlinien. Allerdings drängt sich diese sichtbare Verschiedenheit dieser Stäbe von den geraden sogleich als Ursache der Tonverschiedenheit auf, indess fragt man dabei nothwendig, wie denn eine solche gegenseitige Annäherung der Knotenlinien den Ton tiefer machen könne. Ich weiss darauf nur folgende Antwort zu geben. Wir haben bei den Schwingungsarten der geraden Stäbe gesehen, dass, wenn der Stab durch Knotenlinien in Theile sich eintheilt, von denen einer oder mehrere doppelt so gross sind, als ein an einem freien Ende liegender Theil, und wir, diesen letztern als Maassstab annehmend, jene doppelt so grossen als Vereinigung zweier Theile uns denken, dann die Regel, die Schwingungszahl stehe im umgekehrten Verhältniss der Länge des ganzen Körpers oder seiner schwingenden Theile, falls er in solche beim Schwingen sich eintheilt, auch bei den Theilen, in welche ein schwingender Stab sich theilt, ihre volle Gültigkeit erhalte. Nimmt man nun hiernach an, dass die Grösse des an einem freien Ende liegenden Theiles die Schwingungszahl sämmtlicher Theile des Stabes, folglich auch seinen Ton bestimme, so folgt daraus leicht, dass eine durch das nähere Zusammenrücken der mitten inne liegenden Knotenlinien bewirkte Vergrösserung der Endtheile eine Verringerung der Schwingungszahl, also auch eine Vertiefung des Tones herbeiführen müsse.

Anmerkung. Um einen etwaigen Irrthum zu verhüten, erwähne ich hierbei, dass Baumgartner denselben Umstand, aus wel-

chem **Chladni** die Vertiefung des Tones herleitet, zur Erklärung seiner Erhöhung benutzt. Er sagt nämlich S. 260., nachdem er von den 3 Schwingungsarten gerader Stäbe, der transversalen, longitudinalen und drehenden, gesprochen: »Die hier dargestellten Gesetze der Schwingungen gerader Stäbe befolgen auch die *gekrümmten*, nur mit dem Unterschiede, dass die Schwingungsknoten, zwischen welche die Biegung fällt, durch das Biegen einander näher gerückt und so die Töne erhöht werden. Davon überzeugt man sich am leichtesten, wenn man eine Stange von Glas oder Metall nach und nach immer mehr biegt, und sie bei jedem Grade der Biegung zum Tönen bringt.« Da dem Obigen zufolge bei einem longitudinal schwingenden Stabe die Biegung allerdings den Ton erhöht, und auch bei einem transversal schwingenden die Biegung der äussersten Enden eine Erhöhung des Tones bewirkt, so ist es zu tadeln, dass mit keinem Worte angegeben wird, an welche Schwingungs- und Biegungsart man dabei zu denken habe, zumal da er unmittelbar darauf, in demselben § von transversal schwingenden Gabeln und Ringen redet, wodurch leicht Jemand zu der Meinung verleitet werden könnte, als ob durch eine gabelförmige Umbiegung eines transversal schwingenden Stabes sein Ton erhöht würde, da doch gerade das Gegentheil geschieht.

Indem wir jetzt zu den Schwingungen der gabelförmig gebogenen Stäbe übergehen, unterscheiden wir zuvörderst *zweierlei Arten der Form und der Haltung*, indem die beiden Schenkel einer Gabel entweder gleich lang oder der eine länger als der andere ist, und entweder beide frei sind, einem an beiden Enden freien geraden Stabe vergleichbar, oder der eine angestemmt, der andere aber frei ist.

1) *Transversalschwingungen einer gleichschenkligen Gabel*;

a) *einer an beiden Enden freien.*

Die wahre Beschaffenheit der Schwingungen einer solchen Gabel ist zuerst von **Chladni** ([20]) bekannt gemacht, und auf seine Angaben die unten folgende

20) Akust. S. 111—113.

Übersicht gebaut. Hervorgebracht werden dieselben durch Streichen mit dem Violinbogen am Ende eines Schenkels ([21]), wobei man die Gabeln an einer ihrer äussersten Knotenlinien locker zwischen zwei Fingerspitzen hält ([22]). Stehen die beiden Schenkel der Gabel an der Biegung etwas weiter aus einander, als an ihren Schenkeln, so kann man sie auch dadurch in Schwingung versetzen, dass man einen Metallcylinder zwischen sie bringt, der an der Biegung frei eintreten, zwischen den Enden aber nicht anders austreten kann, als indem er dieselben mit Gewalt aus einander drängt. Ist er auf diese Weise zwischen ihnen hindurchgetreten, so schnellen die Schenkel wieder gegen einander, und gerathen so in Schwingung ([23]). Das gewöhnlichste Verfahren, ihren Grundton ertönen zu lassen, ist bekanntlich das Anschlagen eines Schenkels an einen festen Körper, während man sie am Stiele hält. — Bei der nun zu gebenden Übersicht der verschiedenen Schwingungsarten und Tonverhältnisse einer an ihren Enden freien Gabel tritt uns eine Schwierigkeit entgegen, die durch das Zusammenrücken der Knotenlinien, wenn deren 2 die Biegung einschliessen, herbeigeführt wird. Wir haben nämlich oben bei den geraden Stäben der Zahl der Theile, in welche ein solcher durch Knotenlinien sichtbar sich eintheilt, überall diejenige Theilzahl eingeklammert beigefügt, welche man erhält, wenn man einen zwischen 2 Knotenlinien (oder einer Knotenlinie und einem festen oder angestemmten Ende) liegenden Theil als Inbegriff zweier Theile betrachtet, deren jeder ungefähr die Grösse eines an einem freien

---

21) Dass mit dem Namen *Schenkel* jeder der beiden Theile der wie ein U gestalteten Gabel (der gewöhnlich noch unten an der umgebogenen Mitte ein metallener Cylinder als Stiel angefügt ist) gemeint ist, erwähne ich hier nur deshalb noch ausdrücklich, um dabei anzuführen, dass man dafür auch die Namen *Arm*, *Zinken*, *Zacken* gebraucht.
22) Akust. S. 113.
23) *Biot* II. S. 60 f. — *Schweigger*'s Jahrb. d. Chem. u. Phys. Bd. 12. (42.) S. 193.

Ende liegenden Theiles hat. Darf man nun bei denjenigen Schwingungsarten einer Gabel, wo die Biegung von 2 Knotenlinien eingeschlossen wird, auch diesen durch das mehr oder weniger enge Zusammenrücken dieser beiden Linien bedeutend verkleinerten Theil noch als Inbegriff zweier Theile betrachten, deren jeder die Länge eines an einem freien Ende liegenden habe? Der Augenschein ist offenbar dagegen. Dessen ungeachtet sprechen 2 Umstände dafür, auch hier jene Betrachtungsweise beizubehalten: 1) weil vor der Biegung die Grösse des eingeschlossenen Theiles dieser Betrachtungsweise wirklich entsprach, 2) weil bei denjenigen Schwingungsarten einer Gabel, wo nicht 2 Knotenlinien die Biegung einschliessen, sondern Eine Knotenlinie in der Mitte der Biegung liegt, die Grösse der von Knotenlinien eingeschlossenen Theile jener Betrachtungsweise wirklich entspricht, so dass schon deshalb bei jenen auch in Betreff des dem Augenscheine nach sehr kleinen Theiles diese Betrachtungsweise beibehalten werden muss, um nicht, da eine Schwingungsart mit einem solchen Theile immer in der Mitte zweier solcher Schwingungsarten steht, bei denen Eine Knotenlinie mitten in der Biegung liegt, durch eine andere Auffassungsweise jenes Theiles der erstern die durch die eingeklammerten Theilzahlen gebildete Progression zu unterbrechen. Um jedoch sogleich erkennen zu lassen, bei welchen Schwingungsarten ein solcher Theil, dem Augenschein geradezu entgegen, für 2 gerechnet sei, so schliessen wir diese zwiefach mit Klammern ein. — Die Zahl der Knotenlinien erhält man auch hier stets, wenn man die nicht eingeklammerte Theilzahl um Eins vermindert. — Unter die Tonzeichen sind, wie bei den geraden Stäben geschah, die Zahlen gesetzt, mit deren Quadraten die Töne übereinstimmen.

3 ((4))	4 (6)	5 ((8))	6 (10)	7 ((12))	8 (14)	9 ((16))
c	fehlt	$\overline{\overline{\text{gis}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{fis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{d}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{gis}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}}}$ +
		3	4	5	6	7

Dem c, welches hier beispielsweise als der Ton der einfachsten Schwingungsart der Gabel angenommen ist, bei welcher beide Schenkel abwechselnd gegen einander und von einander schwingen, ist keine Zahl untergesetzt, weil es keine in die folgende Progression passende Zahl gibt, deren Quadrate er entspräche. Zu dem nächsten Tone $\overline{\overline{\text{gis}}}$ verhält er sich, wie das Quadrat von 2 zum Quadrate von 5. Eine Schwingungsart mit 3 Knotenlinien, nämlich einer in der Mitte und einer an jedem Schenkel, durch welche also die Gabel sichtbar in 4 Theile würde eingetheilt werden, sowie ein transversal schwingender, an beiden Enden freier Stab bei seiner zweiten Schwingungsart, findet bei einer Gabel nicht Statt. Denn je mehr man einen geraden Stab in der Mitte krümmt, desto mehr wird diese Schwingungsart erschwert, und wenn der Stab sehr gekrümmt ist, lässt sie sich gar nicht mehr hervorbringen. Vergleicht man die angegebenen Töne mit den oben genannten transversal schwingender gerader Stäbe, so findet man

1) dass sie von der zweiten Schwingungsart an, d. h. von der, wo sich die Gabel durch 4 Knotenlinien sichtbar in 5 Theile eintheilt, mit den Tönen eines an beiden Enden angestemmten geraden Stabes von seiner dritten Schwingungsart an übereinstimmen;

2) dass die Töne der Schwingungsarten, wo die Biegung zwischen 2 einander sehr nahen Knotenlinien liegt, also aller derjenigen, deren zweite Theilzahl in der Tabelle doppelt eingeklammert ist, mit den Tönen eines geraden, an einem Ende

freien, am andern aber befestigten Stabes übereinkommen, nur mit dem Unterschiede, dass die der Gabel um 2 Octaven höher sind, wie die Vergleichung von c, $\overline{\text{gis}}$, $\overline{\overline{\overline{\text{d}}}}$, $\overline{\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}}$ + mit den Tönen contra-C, gis, $\overline{\text{d}}$, $\overline{\overline{\text{d}}}$ — (wodurch eben so wie durch jenes cis + ein zwischen cis und d liegender Ton bezeichnet wird) lehrt. Die Ursache hiervon findet Chladni ([24]) darin, dass bei diesen Schwingungsarten beide Schenkel der Gabel sich so gegen einander stemmen, dass jeder so schwingt, wie ein gerader Stab, dessen eines Ende befestigt ist.

Ausser diesen Schwingungsarten müssen noch folgende Punkte hier erörtert werden:

1) *Die Art der Verbreitung der Schallschwingungen in dem umgebenden Medium.* Hier zeigt die Stimmgabel folgende merkwürdige, bereits oben S. 16 f. kurz erwähnte Erscheinung. Während die Schallschwingungen anderer transversal schwingender Körper in derjenigen Richtung am deutlichsten hörbar sind, in welcher die Luft von dem Schall erregenden Körper gestossen wird, und in welcher sich also der Schall erregende Körper selbst hin und her bewegt, vernimmt man den Schall einer Stimmgabel nicht nur in der Richtung, in welcher die beiden Schenkel hin und her schwingen, sondern auch nach beiden Seiten derselben, d. h. in einer Richtung, welche auf die vorige senkrecht steht, sehr deutlich und weit und längere Zeit ([25]); in den zwischen diesen beiden dop-

---

24) S. 113. 25) Über das Verhältniss der Intensität der Schallverbreitung in diesen beiden Richtungen findet man bei den Gebr. *Weber*, welche vorzugsweise hierüber Beobachtungen angestellt haben, zweierlei etwas verschiedene Angaben. Nach Wellenl. S. 506 ff. ist der Schall in der Richtung ihrer Schwingungen »am stärksten«, in der senkrecht auf diese fallenden Richtung »nur wenig schwächer«. Hiermit ganz in Über-

pelten Richtungen mitten inne liegenden Richtungen dagegen vernimmt man den Ton entweder äusserst schwach oder, wenn die Stimmgabel nur noch schwach tönt, gar nicht. Es gibt demnach an einer Stimmgabel 4 Richtungen, in welchen ihr Ton stark, und 4, in welchen sie äusserst schwach oder gar nicht gehört wird ([26]). Hiervon kann man auf zweierlei Weise sich und Andere leicht überzeugen, 1) indem man die schwingende Stimmgabel in gleicher Höhe mit der Ohrmuschel hält, und ohne ihre Entfernung vom Ohre zu verändern, mittelst ihres Stieles vor demselben um ihre Längenaxe, d. h. in senkrechter Richtung herumdreht, so dass die Gabel nach und nach dem Ohre alle ihre Seiten zuwendet. Man wird hierbei ihren Ton abwechselnd stark und sehr schwach, oder, wenn die Gabel nur noch schwach tönt, ihn abwechselnd hören und nicht hören ([27]); 2) indem man sie vor die Öffnung eines Cylinders, oder einer Flasche, oder eines Arzeneiglases hält, deren Luftsäule denselben Ton zu geben geneigt ist, welchen die Stimmgabel angibt. Dreht man sie in dieser Lage, während sie schwingt, um ihre Längenaxe, so wird ihr Ton 4 Mal lebhaft und überaus verstärkt hervortreten, und 4 Mal wieder verschwinden. Das Erstere wird dadurch bewirkt, dass die Gabel, während sie sich 1 Mal um ihre Längenaxe dreht, 4 Mal, nämlich so oft sie in der Richtung ihrer

---

einstimmung sagt *W. Weber* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. der Chem. und Phys. Bd. 16. (46.) S. 108., die Stimmgabel töne in der erstern Richtung »am stärksten«, in der letztern aber »fast eben so stark«. Dagegen ebend. Bd. 18. (48.) S. 385. 417. sagt derselbe, dass man den Schall der Stimmgabel »oft in der letztern Richtung deutlicher und weiter vernehme, als in der erstern«.

26) *H.* und *W. Weber*: Wellenl. a. a. O. und *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 16. (46.) S. 109 f. Bd. 18. (48.) S. 387.

27) *W. Weber* ebend. Bd. 18. (48.) S. 387. — *Biot* II. S. 66. (2. Aufl.).

Schwingungen oder in der auf diese senkrechten Richtung der Luftsäule zugewandt ist, diese zum Selbsttönen nöthigt, so dass so viele Mal der nämliche Ton von 2 Körpern zugleich hervorgebracht wird und daher nothwendig eine grössere Stärke erhält ([28]). — Dass der Ton der Stimmgabel auch in den beiden Richtungen, welche auf die Schwingungsrichtungen senkrecht sind, stark vernommen wird, erklärt Chladni ([29]) daraus, dass eine ihren tiefsten Ton gebende Stimmgabel so schwinge, dass ihre Schenkel sich bald einander nähern, und dadurch die Luft aus dem zwischen ihnen liegenden verengerten Zwischenraume austreiben, bald sich von einander entfernen, und dadurch Luft in den zwischen ihnen liegenden vergrösserten Raum hineinziehen, und auf diese Weise die Luft in der Querrichtung der Stimmgabel hin und her stossen, wodurch eine Wellenbewegung erzeugt wird, die der in der Schwingungsrichtung liegenden an Intensität wenig oder gar nicht nachsteht. — Dass ihr Ton aber in den 4 Richtungen, welche zwischen diesen eben bezeichneten 4 liegen, äusserst schwach oder gar nicht vernommen wird, wird nicht durch den wechselseitigen Einfluss der zwei schwingenden Schenkel bewirkt, da diese Erscheinung auch Statt findet, wenn man den einen Schenkel in eine weite Röhre steckt, wodurch er von dem andern Schenkel abgesondert wird, ohne jedoch in seinen Schwingungen gehindert zu werden ([30]); auch hat sie nicht darin ihren Grund, dass bei einer Stimmgabel mit parallelepipedischen Schenkeln diesen Richtungen nicht Flächen, sondern

28) *W. Weber* ebend. Bd. 16. (46.) S. 111 f. Bd. 18. (48.) S. 387. 397 ff. — *Biot* II. S. 67. (2. Aufl.). 29) In *Kastner's* Archiv Bd. 7. Heft 1. S. 92, s. *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 386. 30) *W. Weber* ebend. Bd. 16. (46.) S. 110.

Kanten zugekehrt sind, weil sie auch bei einer dreiseitigen Stimmgabel sich zeigt, wo doch nach diesen Richtungen hin Flächen, und dagegen nach den Richtungen, in welchen der Ton stark gehört wird, Kanten hingerichtet sind ([31]); die Ursache muss demnach in etwas Anderm liegen. W. Weber findet sie in einer *Interferenz* (*Unterbrechung*) *der Schallstrahlen*, welche an allen den Punkten eintrete, wo der von der Stimmgabel ausgehende Ton verschwinde. Alle diese Punkte zusammengenommen bilden eine senkrecht auf die Kanten der Stimmgabel hyperbolisch gekrümmte Fläche ([32]). Fechner hingegen findet die Ursache darin, dass in den Richtungen, in welchen der Ton verschwindet, keine geraden Bewegungen in der Luft vorhanden sind, wie in denjenigen 4 Richtungen, in welchen der Schall deutlich vernommen wird, sondern *kreisende progressive Bewegungen* in ihr

---

31) *W. Weber* ebend. Bd. 16. (46.) S. 109.   32) S. dess. Abh.: »Über Unterbrechungen der Schallstrahlen in der transversal schwingende Stäbe und Gabeln umgebenden Luft«, im angef. Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 385 ff. Damit das, was *Weber* mit dem obigen Ausdrucke meint, dem Leser wenigstens in etwas deutlicher werde, so entlehne ich aus jener Abhandlung S. 423 f. hier folgende Stelle: »Ein transversal schwingender Stab (insbesondere wenn er die Gestalt eines langen quadratischen Prisma's hat) sendet zwei Wellenzüge in der umgebenden Luft aus, deren jeder aus abwechselnden verdichtenden und verdünnenden Wellen besteht, den einen von der Vorderseite des Stabes, den andern von der entgegengesetzten Seite. 1) Diese beiden Wellenzüge schreiten von den beiden entgegengesetzten Flächen des Stabes, parallel mit diesen Flächen, nach entgegengesetzten Richtungen fort; gleichzeitig aber verbreiten sie sich mit gleicher Geschwindigkeit von den Kanten des Stabes in allen Richtungen eines Halbkreises kreisförmig. 2) Die zugleich von den beiden entgegengesetzten Flächen des Stabes ausgehenden Wellen haben entgegengesetzte Eigenschaften, d. h. wenn von der vordern Fläche des Stabes eine verdichtende Welle ausgeht, geht zur nämlichen Zeit von der hintern Fläche des Stabes eine verdünnende Welle aus. 3) Endlich die verdichtende Welle, von welcher Fläche sie ausgehen möge, geht um einen sehr kleinen (von der Dicke und der Materie des Stabes abhängenden) Zeittheil früher aus, als die verdünnende Welle von der entgegengesetzten Fläche des Stabes. 4) Diese beiden Wellenzüge müssen einander so durchkreuzen, dass es eine Grenzlinie gibt, in welcher stets verdichtende Wellen von der einen Fläche des Stabes mit verdünnenden Wellen von der entgegengesetzten Fläche des Stabes aufs Genaueste zusammenfallen und einander decken, und dadurch ihre Wirkungen gegenseitig vernichten, so dass in dieser Linie alle Schallstrahlen unterbrochen werden; und diese Linie hat die Gestalt einer Hyperbel.«

Statt finden, so dass die Schallwellen nicht direct, wie in jenen andern 4 Richtungen, auf die Gehörwerkzeuge wirken können, sondern wegen der kreisenden Bewegung quer vorüber gehen oder nur in schiefen Richtungen einwirken ([33]). Das Vorhandensein solcher kreisenden Bewegung sowohl, wie das der geraden Bewegung in der Luft wird daraus gefolgert, dass, wenn man das eine Ende eines Stabes oder beide Enden einer Gabel in Wasser, nur wenig unter dessen Oberfläche, taucht, indem man den Körper an einer seiner Knotenlinien hält und durch ein daran gelöthetes Stäbchen in Schwingung versetzt, einerseits Wellen auf der Oberfläche der Flüssigkeit entstehen, welche jedoch nicht merklich länger dauern, als die Erregung durch die Schwingung des klingenden Körpers, aber sehr heftig werden können; andererseits theils gerade, theils kreisende progressive Bewegungen oder Strömungen der Flüssigkeit entstehen, welche letztern man aber nur dadurch sichtbar machen kann, dass man auf die Oberfläche des Wassers Bärlappsamen, jedoch nur in sehr geringer Menge, aufstreut ([34]). — Auf die letztere Weise, nämlich aus einem Vorübergleiten an dem Ohre wegen der kreisenden Bewegung, möchte sich zugleich die Beobachtung erklären, dass man den Ton einer schnell um die Axe ihres Stieles gedrehten Stimmgabel während der Drehung nicht vernimmt, dagegen sogleich ihn wieder hört, wenn

---

33) S. d. 2. Aufl. s. deutschen Bearbeitung von *Biot's* Lehrb. der Experimental-Phys. Bd. II. S. 70.

34) Dieses Mittel, die Bewegungen, welche der schwingende Stab oder die schwingende Gabel im umgebenden Medium hervorbringen, zu versichtbaren, haben *Chladni* und *Sömmering* angegeben, s. ebend. S. 67 f., wo zugleich S. 69 f. die so im Wasser sich zeigenden Bewegungen durch Abbildungen veranschaulicht sind. Auf ähnliche Weise hat *Savart* die Schwingungen einer Platte auf der Oberfläche von Wasser sichtbar gemacht, s. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 412 ff. und Tab. III. Fig. 27 — 29.

die Umdrehung plötzlich gehemmt wird ([35]). Denn da bei jener Drehung der Stimmgabel auch diejenigen Schallwellen, die sonst direct auf die Gehörwerkzeuge wirken, eine kreisende Richtung erhalten, so gleiten auch sie, sammt den übrigen, wirkungslos an dem Ohre vorüber.

Anmerkung. Dieselbe Erscheinung, welche wir so eben an einer Stimmgabel in Betracht zogen, findet sich Chladni's und Sömmering's Beobachtung zufolge (s. Biot II. S. 67. 2. Aufl.) auch an einfachen (im Gegensatz der als Doppelstab betrachteten Stimmgabel), d. h. geraden, sowohl cylindrischen als prismatischen, Stäben, so nämlich, dass ihr Ton in der Richtung ihrer Schwingungen und der darauf senkrechten am stärksten gehört wird, in den Zwischenrichtungen aber entweder schwach oder gar nicht vernommen wird. Nach W. Weber hingegen (s. Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. der Chem. und Phys. Bd. 18. (48.) S. 386 f. vgl. S. 395.) findet jene Erscheinung, welche Stimmgabeln zeigen, nicht ganz in derselben Art bei einfachen Stäben Statt. Er behauptet nämlich, dass es zwar an jedem Stabe, er mag rund, dreiseitig oder vierseitig sein, 4 verschiedene von demselben ausgehende Richtungen gibt, in welchen der Ton des Stabes entweder äusserst schwach oder gar nicht vernehmbar ist, und dass diese Richtungen zwischen der Richtung, in welcher der Stab schwingt, und der Seitenrichtung, welche auf jene senkrecht ist, ziemlich in der Mitte liegen, dass dagegen der Ton eines solchen einfachen Stabes in der Richtung, die auf seine Schwingungsrichtung senkrecht ist, keineswegs so stark wie in dieser letztern, sondern viel schwächer vernehmbar sei, so dass mithin ein einfacher Stab bloss nach Einer Richtung, in der Richtung seiner Schwingungen, sehr laute Schallwellen aussende. Er

---

Vgl. *Poggendorff*'s Annal. Bd. 26. (102.) S. 246. und *Savart's* Versuche mit in Wasser schwingenden Platten, in *Schweigger*'s Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 413 ff. und Tab. III. Fig. 28. 29. — Übrigens kann man ausser dem hier angegebenen Verfahren mittelst einer Flüssigkeit auch noch auf die Art, wie es bei *Wheatstone's* Kaleidophon mit geraden Stäben geschieht, die Schwingungen eines Stimmgabelschenkels anschaulich machen, indem man das Ende desselben polirt und Sonnenlicht darauf fallen lässt, oder ein Stück glimmenden Schwammes daran befestigt. *Baumgartner* Supplbd. S. 376. 35) S. *H.* und *W. Weber*: Wellenl. § 274. und *W. Weber* in *Schweigger*'s und *Schweigger-Seidel*'s Jahrb. Bd. 16. (46.) S. 112.

stützt diese Behauptung auf die von ihm mit solchen Stäben angestellten Versuche, und fügt hinzu, dass es bei einem einfachen Stabe nicht anders sein könne, wenn Chladni's oben aus Kastner's Archiv Bd. 7. Heft 1. S. 92. angeführte Erklärung die richtige sei. Nimmt man hingegen an, dass die durch einen schwingenden einfachen Stab oder eine schwingende Gabel erzeugten verdichtenden und verdünnenden Wellen in der Luft in ähnlichen Richtungen vor sich gehen, als die auf die oben erwähnte Weise versichtbarten Strömungen, welche jene schwingenden Körper im Wasser bewirken, so kann man sich daraus mit Fechner (in der 2. Aufl. seiner deutschen Bearbeitung von Biot's Lehrb. der Experimental-Phys. Bd. II. S. 70.) die deutliche Vernehmbarkeit des Schalles auch in der auf die Schwingungsrichtung senkrechten Richtung hinreichend erklären, ohne zu Chladni's Erklärung seine Zuflucht zu nehmen. Dann aber würde auch der Ton einfacher Stäbe in dieser auf die Schwingungsrichtung senkrechten Richtung eben so stark vernehmbar sein müssen, wie in der Richtung ihrer Schwingungen; dieses aber ist ein Gegenstand, der, dem zuvor Gesagten zufolge, zur Zeit noch nicht ausser Zweifel gesetzt ist.

2) *Die Art der Mittheilung der Schallschwingungen an andere feste Körper.* Da die Mittheilung jener an diese durch Aufstemmung des Stieles der Stimmgabel auf diese geschieht, mithin durch diesen Stiel vermittelt wird, so muss vor Allem erwähnt werden, welche Bewegungen derselbe macht, während die Gabel schwingt. Diese sind von zweierlei Art:

a) eine *Molecularbewegung*, d. h. sehr feine Erzitterungen der einzelnen Theilchen des Stieles. Diese geschieht immer parallel der Schwingung der Schenkel der Stimmgabel, sie ist mithin eine *normale* Schwingung, weil sich die Theilchen senkrecht auf die Längenaxe bewegen. — Von dieser Richtung der schwingenden Theilchen aber ist die Richtung zu unterscheiden, in welcher

sich diese Schwingungen vom obern befestigten Ende des Stieles bis zum untern fortpflanzen, oder, mit andern Worten, die Richtung der von einem Ende des Stieles zum andern fortschreitenden Schallwelle. Die Richtung dieser letztern ist *longitudinal*, d. h. parallel mit der Längenaxe des Stieles. Will man sich einen solchen öfters eintretenden Fall, wo die Theilchen selbst nach einer andern Richtung schwingen, als die ist, in welcher die Welle, innerhalb deren die Theilchen jene Schwingungen machen, fortschreitet, recht veranschaulichen, so spanne man z. B. einen etwas langen Faden nicht allzu straff zwischen 2 feste Körper, und errege durch einen Stoss oder Zug nahe bei dem einen Ende eine Ausbeugung des an dem Ende liegenden Theiles, folglich eine Transversalschwingung desselben. Man wird sogleich wahrnehmen, dass sich diese Ausbeugung nach und nach immer weiter nach dem andern Ende hin fortpflanzt, und, dort angelangt, nach dem erstern Ende wieder zurückschreitet, dass also dieses Fortschreiten der Ausbeugung eine *longitudinale* Richtung hat, während die Theile selbst, wie dieses schon in dem Namen »Ausbeugung« liegt, *transversal* sich bewegen. Eine Schwingungsart wie die eben bezeichnete, wo nicht alle Theile gleichzeitig, sondern einer nach dem andern schwingt, wird eine *fortschreitende Schwingung* genannt, s. S. 23.;

b) eine *Totalbewegung*, d. h. eine Bewegung des Stieles im Ganzen. Bei der obigen Aufzählung der verschiedenen Schwingungsarten ist durch doppelte Einklammerung in der Tabelle angedeutet, bei welchen Schwingungsarten an der

Biegung 2 Knotenlinien sich bilden. Da nun der Stiel an dem zwischen diesen 2 Knotenlinien befindlichen Theile befestigt ist, so wird nothwendig, so oft dieser Theil bei seinen Transversalschwingungen aufwärts sich biegt, der ganze Stiel mit aufwärts, und so oft er sich abwärts biegt, der ganze Stiel mit abwärts bewegt, so dass bei loser Aufstemmung des Stieles auf einen festen Körper dieser Stiel gleichsam auf ihm hüpft. Diese hüpfende *longitudinale* Bewegung des ganzen Stieles findet namentlich auch bei der einfachsten Schwingungsart der Stimmgabel, in welcher sie ihren Grundton gibt, Statt, also bei derjenigen, mit welcher man Versuche über Mittheilung der Schwingungen zu machen pflegt.

Betrachten wir nun die Art der Mittheilung der Schallschwingungen der Stimmgabel an andere feste Körper selbst, so treten uns verschiedene Fälle entgegen, von denen wir folgende als die wichtigsten hier ins Auge fassen.

a) Der feste Körper, in welchem durch die ihm mitgetheilten Schwingungen eine resonirende Schwingung erregt wird, wird von der Stimmgabel *unmittelbar* berührt, indem diese

aa) entweder senkrecht auf seine *Oberfläche* gestemmt wird. Dieses ist die gewöhnliche Art, die Schwingungen der Gabel einem als Resonanzboden dienenden Körper mitzutheilen und ihren Ton durch Resonanz auf die Seite 44 f. angegebene Weise zu verstärken. Es wirken bei dieser Anstemmungsweise beiderlei Bewegungsarten des Stabes ein. 1) Die Totalbewegung desselben, durch die jener Körper in der Richtung der Längenaxe des Stieles, mithin

senkrecht Stösse erhält, und dadurch in *transversale* oder, wenn keine Beugung entsteht, in *normale* Schwingungen versetzt wird. 2) Die normale Molecularschwingung des Stieles aber erregt in dem Körper, indem sie ihn in eine ihr parallele Bewegung versetzt, *tangentiale* Schwingungen.

bb) Oder senkrecht auf die *schmale Seitenfläche*, z. B. eines als Resonanzboden dienenden Tisches von Fichtenholz. Bei dieser Aufstemmungsweise ist die den Ton verstärkende Resonanz schwächer, als bei jener, und zwar deshalb, weil hierbei nur die Eine Bewegungsart des Stieles, seine Molecularschwingung, auf den Körper einwirkt. Der Grad aber, in welchem die Resonanz bei dieser Art der Aufstemmung schwächer ist, als bei jener, ist nicht bei jeder Richtung der Gabel derselbe. Denn während bei der erstern Aufstemmungsweise eine Drehung der Stimmgabel auf die Stärke der Resonanz keinen Einfluss hat ([36]), tritt dagegen bei der letztern Art der Aufstemmung eine sehr bedeutende Änderung der Stärke des Tones ein, jenachdem die Hauptflächen der Schenkel

α) entweder *parallel* mit der Oberfläche dieses Resonanzbodens,

β) oder *senkrecht* auf dieser Fläche stehen.

Im erstern Falle werden in dem Resonanzboden *normale*, im letztern dagegen *tangentiale* Schwingungen erregt. Daher ist die Resonanz im erstern Falle *stark*, im letztern *schwach* ([37]).

---

36) S. *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 309. 37) Ebend. S. 309 f.

b) Der feste Körper, in welchem durch die ihm mitgetheilten Schwingungen eine resonirende Schwingung erregt wird, wird nicht unmittelbar, sondern *mittelbar* von der Stimmgabel berührt. Von den hier möglichen Fällen wollen wir nur folgende betrachten. Der die Verbindung der Stimmgabel mit dem Resonanzboden vermittelnde Körper sei ein Stab oder eine Platte, welche mit dem untern Ende senkrecht auf die Oberfläche des Resonanzbodens gestellt sind. Dieser die Schwingungen der Gabel zu dem letztern hinüberleitende Körper hat

aa) entweder eine *gerade* Richtung. Von Seiten der Richtung, in welcher die Stimmgabel das obere Ende dieses vermittelnden Körpers berührt, sind zuvörderst wieder 2 Fälle zu unterscheiden.

α) Sie ist auf das obere Ende des Stabes oder der Platte *perpendiculär* mit dem Ende ihres Stieles so gestemmt, dass der Stiel mit der Längenaxe dieses Körpers eine *gerade Linie* bildet. In diesem Falle ist die Mittheilung des Schalles unter allen zur mittelbaren Mittheilung der Schallschwingungen gehörenden Fällen *am stärksten*, und von gleicher Stärke mit der bei a. aa. bezeichneten unmittelbaren, weil auch hier beide Bewegungsarten des Stieles einwirken.

β) Sie ist an das obere Ende des Stabes oder der breiten Fläche der Platte mit dem Ende ihres Stieles *horizontal* so gestemmt, dass sie mit der Längenaxe dieses Körpers einen rechten Winkel bildet. Bei dieser Aufstemmungsweise scheint die Totalbewegung des Stieles

eine Bewegung des ganzen den Schall leitenden Körpers, nicht eine besondere seiner Molecule hervorzubringen ([38]). Es muss daher die hüpfende Totalbewegung des Stieles hier durch Festhaltung des Stieles nahe am Ende, wo er aufgesetzt wird, vermieden werden ([39]), damit seine Molecularbewegung eine Schwingung der Theilchen des den Schall leitenden Körpers hervorbringen könne. Natürlich ist die Resonanz unter diesen Umständen stets schwächer, als bei der zuvor erwähnten, weil der Ton hierbei nur durch Eine Art der Bewegung des Stieles fortgepflanzt wird. Diese, im Vergleich mit der erstern stets schwächere, Resonanz hat aber selbst wieder verschiedene Grade der Stärke, je nach der verschiedenen Richtung der Schenkel der Gabel.

αα) Liegen die beiden Schenkel der Stimmgabel in der Richtung des Stabes oder der Platte, also *senkrecht über* einander, so erregt die mit der Schwingung der Schenkel stets parallele Erzitterung der Theilchen des Stieles in dem Stabe oder der Platte eine *tangential longitudinale* Erzitterung, welche wiederum in dem Resonanzboden, so bald sie sich bis zu diesem fortgepflanzt hat, eine *normale* Erzitterung bewirkt, weil die Theilchen des Stabes oder der Platte senkrecht gegen ihn stossen ([40]).

ββ) Liegen die beiden Schenkel dagegen *horizontal neben* einander, so bewirkt die auch

---

38) *H.* und *W. Weber*: Wellenl. S. 253. 39) *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 307. 40) Ebend. S. 307 f.

hier mit der Schwingung der Schenkel parallele Molecularschwingung des Stieles in dem Stabe oder der Platte eine *tangential transversale* Schwingung, welche, wenn sie sich bis zum Resonanzboden fortgepflanzt hat, in diesem eine *tangentiale* Erzitterung hervorbringt, weil nun die Theilchen jenes Körpers nicht senkrecht auf ihn stossen, sondern sich nur in einer seitwärts gehenden Richtung an ihm reiben ([41]).

Dass hier eine *tangential transversale*, dort eine *tangential longitudinale* Schwingung in dem Stabe oder der Platte durch die Stimmgabel erregt wird, beruht auf dem wichtigen, besonders durch Savart entdeckten und durch vielfache Versuche dargethanen Naturgesetze, dass ein schwingender Körper alle anderen mit ihm in Berührung gebrachten Körper in eine seiner eigenen parallele Schwingung versetzt ([42]). — Wie sich die Stärke der Resonanz dieser beiden Fälle αα. und ββ. zu einander verhalte, folgt aus dem, was S. 152. über das Verhältniss der *normalen* und *tangential transversalen* Schwingung, Savart's Versuchen zufolge, gesagt ist. Die Resonanz ist bei αα. *stark*, bei ββ. *sehr schwach*, so dass man den Ton kaum hört ([43]).

bb) Oder der die Schallschwingungen der Stimmgabel zum Resonanzboden fortleitende Körper hat *nicht* eine *gerade*, sondern eine *gebogene* Richtung. Nehmen wir z. B. an, der Stab oder die Platte sei in der Mitte gebogen, so

---

41) *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 308. 42) Ebend. Bd. 14. (44.) S. 388. 405 ff. 43) Ebend. Bd. 14. (44.) S. 411 ff. Bd. 15. (45.) S. 309. u. Bd. 13. (42.) S. 108.

sind dabei folgende Fälle möglich. Die Biegung ist: 1) *stumpfwinkelig*, 2) *rechtwinkelig*, 3) *spitzwinkelig* und 4) *parallel*, *gabelförmig*. Ob der Stab oder die Platte eine dieser Richtungsformen wirklich durch Biegung erhalten, oder aus Theilen, die unter einer solchen Richtung zusammengefügt sind, entstanden ist, hat auf die hier zu erwähnenden Schwingungen gar keinen Einfluss. Setzt man das eine Ende eines so gebogenen Körpers auf einen Resonanzboden und stemmt an dem andern Ende eine schwingende Stimmgabel auf die oben bei β. angegebene Weise so auf, dass sie mit der Längenaxe des Körpers einen rechten Winkel bildet, so sind abermals von Seiten der Richtung der Schenkel der Gabel 2 Fälle zu unterscheiden.

α) Die beiden Schenkel stehen wie oben bei β. *αα.* so, dass ihre Schwingung mit der Längenaxe des Theiles, dem sie aufgestemmt sind, parallel ist. Der gebogene Körper kann füglich als aus 2 Theilen bestehend angesehen werden, welche an der Stelle der Biegung mit einander verbunden sind. Den Theil, welchem die Stimmgabel aufgesetzt ist, wollen wir a; den, welcher auf dem Resonanzboden steht, b nennen. Bei jeder der oben genannten Biegungsgrade werden die Molecule des Theiles a, bei jener Richtung der Schenkel, in *tangential longitudinale* Schwingung versetzt. Da, dem zuvor erwähnten, von Savart dargethanen, Gesetze zufolge, die Molecule des Theiles b mit denen des Theiles a *parallel* schwingen, so werden die von b, wenn beide

Theile unter einem stumpfen oder spitzen Winkel mit einander verbunden sind, *schief* (vgl. S. 152.); wenn beide einen rechten Winkel bilden, *tangential transversal* oder *normal*; wenn sie aber gabelförmig mit einander verbunden parallel gehen, *tangential longitudinal* schwingen. Hieraus ergibt sich, nach dem früher Gesagten, leicht die Stärke der Resonanz. Am stärksten ist sie im letzten Falle; denn die Theilchen von b stossen senkrecht gegen den Resonanzboden und versetzen ihn in *normale* Schwingung. Am schwächsten ist die Resonanz im zweiten Falle, weil hier die Theilchen sich nur tangential an dem Resonanzboden reiben und so eine *tangentiale* Schwingung in ihm erzeugen. Zwischen beiden liegt in Hinsicht der Stärke die Resonanz, welche im ersten Falle eintritt, weil dann die Theilchen von b schief gegen den Resonanzboden stossen und eine *schiefe* Erzitterung in ihm bewirken. Die Stärke dieser letzten aber und die dadurch hervorgebrachte Resonanz hat wiederum verschiedene Grade, jenachdem der stumpfe oder spitze Winkel dem rechten Winkel näher oder ferner liegt. Denn je mehr sich der Winkel einem rechten nähert, desto mehr nähern sich die schiefen Stösse der Theilchen von b gegen den Resonanzboden der schwachen tangentialen Reibung, desto schwächer also auch die Resonanz; je weiter er aber von dem rechten Winkel entfernt ist, desto mehr nähern sich jene schiefen Stösse den starken senkrech-

ten, folglich ist dann auch die Resonanz desto stärker (44).

β) Die beiden Schenkel stehen, wie oben bei β. ββ., so, dass die Richtung ihrer Schwingung senkrecht auf die Längenaxe des Theiles a ist. In diesem Falle werden sowohl in dem Theile a als in dem Theile b, wie sie auch mit einander verbunden sein mögen, stets *tangential transversale* Schwingungen erregt, folglich ist in diesem Falle die Rosonanz stets sehr schwach, weil in dem Resonanzboden eine *tangentiale* Schwingung entsteht.

Anmerkung. Diese Erörterung der verschiedenen Mittheilungsarten der Schallschwingungen der Stimmgabeln an andere feste Körper ist deshalb hier so ausführlich gegeben, um 1) das wichtige, von Savart entdeckte Gesetz des *Parallelismus der Schwingungen sich berührender Körper* zu veranschaulichen, 2) den *Einfluss der Richtung des schwingenden Körpers gegen einen Resonanzboden auf die Stärke der Resonanz* zu zeigen, und endlich 3) anzudeuten, was Wheatstone etwa meine, wenn er durch die unter b erwähnten Versuche (mit Ausnahme des bei aa. α. genannten) eine *Polarisation des Schalles* hervorgebracht zu haben glaubt. Jeder mit der Lehre vom Licht Bekannte erkennt sogleich, dass diese Benennung der durch Malus in die Theorie des Lichtes eingeführten Benennung *Polarisation des Lichtes* nachgebildet ist. Was unter der letztern verstanden werde, kann wegen der Schwierigkeit und Mannigfaltigkeit des Gegenstandes nicht in der Kürze klar gemacht werden. Wir verweisen deshalb diejenigen, welche sich darüber belehren wollen, auf die darüber handelnden physikalischen Werke und Abhandlungen, namentlich auf Baumgartner S. 381 ff. Supplbd. S. 482 ff. — Biot: Lehrbuch der Experimental-Physik. 2. Aufl. der deutsch. Bearbeit. von Fechner. Bd. V. S. 106 ff. — Die hieher gehörenden Abhandlungen in Poggendorff's Annal. der Phys. Bd. 12. 19. 20. 21. 22. 23. 26. 28. — Dass aber, so wichtig auch

---

44) *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 12. (42.) S. 194

Wheatstone's Beobachtungen sind, doch diese Benennung »*Polarisation des Schalles*«, die er jenen Erscheinungen in den Annals of Philosophy, New series No. XXXII. Aug. 1823. p. 81 sqq. gibt, eine unpassende sei, erklären Alle, deren Urtheil darüber mir zu Gesicht gekommen, einstimmig, so Chladni, W. Weber, Baumgartner, Pellisov, die Herausgeber der Annales de chimie et de physique: Arago und Gay-Lussac, s. Schweigger's Jahrb. der Chem. und Phys. Bd. 12. (42.) S. 192 ff., wo noch einige andere Versuche ausser den oben angeführten beschrieben werden; Bd. 15. (45.) S. 306 ff. Bd. 16. (46.) S. 111. — Baumgartner S. 268. (Die hier angeführten Versuche sind zwar in Hinsicht der Lage des den Schall zum Resonanzboden leitenden Körpers von den obigen etwas verschieden, in der Hauptsache aber, nämlich in der Art der Mittheilung der Schwingungen, dieselben). — Pellisov: Berichtigung eines Fundamentalsatzes der Akustik u. s. w. S. 16. — Ob Müller, dessen Versuche in jenem Jahrb. Bd. 12. (42.) S. 198 f. angeführt werden, jene Benennung für passend halte, ist aus dieser Stelle und S. 197. nicht zu ersehen. — Wer sich die oben beschriebenen verschiedenen Stellungen der Stimmgabel auf einer geraden oder rechtwinkeligen Platte sinnlich veranschaulichen will, der sehe die Abbildungen Fig. 205. auf Tab. XVIII. in H. und W. Weber's Wellenlehre. Vgl. die Erläuterung ders. ebend. S. 552 f.

3) Die *Töne* der Stimmgabeln, welche sie bei den verschiedenen Schwingungsarten hervorbringen, sind bereits oben S. 201. angeführt. Hier sind daher nur noch folgende Punkte zu betrachten:

a) Die *Stärke und Weite der Hörbarkeit* dieser Töne. Es ist bereits S. 41. Note 17. und S. 45 f. erwähnt, dass nicht jeder Ton einer Stimmgabel so schwach ist, dass, um ihn vernehmbar zu machen, dieselbe nahe an das Ohr gehalten, oder auf einen festen Körper, der zu resoniren vermag, aufgestemmt, oder vor eine Röhre, Flasche u. dergl., deren Luftsäule, in Schwingung versetzt, denselben Ton zu geben vermag (s. oben S. 203.), gehalten werden muss. Denn der *hohe Ton*, welchen

eine angeschlagene Stimmgabel ausser dem tiefern hervorbringt, kann vornehmlich im Augenblicke des Anschlagens selbst bis zu einer beträchtlichen Entfernung vernommen werden, tönt auch noch längere Zeit schwach fort und wird durch das Aufstemmen der Stimmgabel auf einen Resonanzboden nicht merklich verstärkt ([45]). — Die *tiefen Töne* aber, welche dünne Stimmgabeln und überhaupt dünne Stäbe geben, tönen wenigstens in einer Entfernung von $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll, auch ohne Resonanz, sehr stark und glockenartig, während man in einer Entfernung von etwa 6 Zoll gar nichts von diesem starken Tone hört. Die Ursache dieser schnellen Abnahme der Tonstärke mit der Entfernung, wodurch sie sich namentlich von Glocken und schwingenden Luftsäulen so sehr unterscheiden, liegt in dem oben S. 205. Gesagten. Es gehen bei einem schwingenden Stabe oder einer Gabel von der Vorder- und Hinterfläche 2 Wellenzüge aus von entgegengesetzten Eigenschaften, d. h. zur nämlichen Zeit, wo von der Vorderfläche eine verdichtende Welle ausgeht, geht von der Hinterfläche eine verdünnende aus. Die von der Vorderfläche ausgehenden Wellen schreiten nicht bloss nach vorn fort, sondern, indem sie inflectirt werden, nach allen Richtungen. Eben so die von der Hinterfläche ausgehenden Wellen. Weil die beiden Flächen, von welchen die beiden Wellenzüge ausgehen, einander sehr nahe liegen, im Vergleiche zur Dicke der hervorgebrachten Schallwellen, so werden die gleichzeitig von der Vorder- und Hinterfläche ausgehen-

45) *H.* und *W. Weber*: Wellenl. S. 530.

den verdichtenden und verdünnenden Wellen grossentheils in einander fallen, und wegen ihrer entgegengesetzten Eigenschaften ihre Wirkungen gegenseitig aufheben, folglich dem Ohre unvernehmbar werden. Dieses geschieht um so mehr, je dünner der schwingende Stab oder die Gabel ist, je näher somit die beiden Flächen einander liegen, von welchen die entgegengesetzten Wellenzüge ausgehen. Daher nimmt die Weite, in welcher man den Ton eines solchen Körpers hören kann, immer mehr ab, je dünner er wird. Dass man den Ton eines solchen Stabes aber in der Entfernung von $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll so stark vernimmt, rührt daher, weil hier die inflectirten Stücke der Schallwellen noch sehr schwach sind und nur wenig von den directen Stücken der Schallwellen aufzuheben vermögen ([46]).

b) Die *Dauer des Tones* einer Stimmgabel und überhaupt eines Stabes ist grösser, als die des Tones einer Saite. Den Ton einer guten Stimmgabel hört man 25 bis 30 Secunden lang, der Ton der Saite eines Monochords dauert kaum 3 bis 4 Secunden deutlich hörbar fort ([47]).

c) Beim Verklingen der Stimmgabel wird eine, wenn auch nur sehr geringe, *Erhöhung des Tones* wahrgenommen. Diese kommt daher, weil gegen das Ende der Dauer der Schwingungen die Schwingungsbahnen kleiner, und folglich die Schwingungen ein wenig schneller werden, als

---

46) Die eben angeführte Erklärung hat *W. Weber* aufgestellt im angef. Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 427 ff. vgl. S. 398 f. 47) *Fischer*: Versuche über die Schwingungen gespannter Saiten, besonders zur Bestimmung eines sichern Massstabes für die Stimmung; in den Abhandl. der Berlin. Akad. d. W. A. d. J. 1822 und 1823. Phys. Classe S. 203 f., vgl. *Baumgartner* Supplbd. S. 373.

sie im ersten Augenblicke nach dem Anschlagen der Stimmgabel sind ([48]).

Anmerkung I. Die Richtigkeit dieser Beobachtung wird von Fischer (Über die Grundlehren der Akustik, in den Abhandl. der Berlin. Akad. der Wissensch. A. d. J. 1824. Phys. Classe S. 105.) nicht anerkannt, denn er sagt ausdrücklich: »Wenn man eine angeschlagene Saite, oder noch besser eine oscillirende Stimmgabel verklingen lässt, so ändert sich die Höhe des Tones auf keine dem geübtesten Ohr bemerkbare Art, d. h. die *Dauer* der Oscillationen bleibt gleich; aber die *Oscillationsweiten* werden immer kleiner, und mit ihnen nimmt zugleich die Stärke des Tones ab.« Es ist aber dieser Gegenstand wichtiger, als er vielleicht auf den ersten Anblick scheinen mag. Denn auf der Richtigkeit oder Unrichtigkeit dieser und ähnlicher Beobachtungen beruht der höchst wichtige Punkt, ob *sämmtliche* Schwingungen, die ein Körper bei Hervorbringung eines Tones macht, im strengsten Sinne *gleichzeitig* sind oder nicht. Mathematiker und Physiker, wie Taylor ([49]), Bernoulli ([50]), Poisson ([51]), Baumgartner ([52]), schreiben nur den *kleinen* Schwingungen eine vollkommene Gleichzeitigkeit zu. Dass auch W. Weber dieser Ansicht sei, erhellet besonders aus folgender Stelle seiner Abh.: »Compensation der Orgelpfeifen«, in Poggendorff's Annal. Bd. 14. (90.) S. 402: »Es ist bekannt, dass der Ton einer angeschlagenen Stimmgabel im ersten Augenblicke etwas tiefer ist, als gegen das Ende, wo die Schwin-

---

48) *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 14. (90.) S. 402. Wer sich von dieser allmäligen Abschwächung der Schwingungsbahnen mittelst der Augen überzeugen will, möchte dazu am leichtesten durch eine ähnliche Vorrichtung gelangen, wie sie *Wheatstone* bei seinem S. 176. erwähnten Kaleidophon oder phonischen Kaleidoskop anwandte; denn durch dasselbe wird die allmälige Abnahme der Schwingungsweite des frei schwingenden Endes eines geraden Stabes sehr gut sichtbar gemacht, s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 10. (86.) S. 478. 49) S. dess. Methodus incrementorum. Lond. 1715. p. 88—93., s. *Fischer*: Versuche über die Schwingungen der Saiten, a. a. O. S. 187. 50) In d. comment. Petrop. Tom. III. vom J. 1728. S. 13., und in s. Opera. Tom. III. p. 198 sqq., s. *Fischer* ebend. S. 188. 51) Diese Ansicht liegt z. B. in folgenden Worten seiner Traité de mécanique. Tom. II. p. 304.: »Le ton d'une corde sonore est d'autant plus élevé qu'elle fait un plus grand nombre de vibrations en un temps donné; il est donc déterminé par le nombre *n*, lequel est, comme on voit, indépendant de la grandeur des amplitudes, *supposées très petites.*« 52) *Baumgartner* Supplbd. S. 373: »Auch darf man bei derlei Untersuchungen nicht vergessen, dass die Schwingungsanzahl auch von der Grösse der Schwingungsbahn abhängt und nur bei kleinen Schwingungsbahnen vorausgesetzt werden dürfe, alle Schwingungen seien gleichzeitig. Schon aus diesem Grunde darf man sich nicht mit Schwingungen befassen, die in zu grossen Elongationen vor sich gehen.«

gungsbahnen ihrer Theilchen sehr klein geworden sind. »»Der Ton der verhallenden Stimmgabel««, sagt man, »»zieht sich etwas in die Höhe.«« Eben so zieht sich der Ton jeder verhallenden Saite etwas in die Höhe. Überhaupt ist es eine Eigenthümlichkeit aller transversal schwingenden Körper, dass ihr Ton etwas tiefer bei stärkerer Schwingung, etwas höher bei schwächerer Schwingung ist. Die umgekehrte Eigenthümlichkeit haben aber alle longitudinal schwingenden Körper, und im höchsten Grade findet sie sich bei longitudinal schwingenden Luftsäulen; denn statt, wie die transversal (durch Beugung) schwingenden Körper, bei Verstärkung der Schwingungen tiefer zu tönen, tönen longitudinal (durch Verdichtung und Verdünnung) schwingende Körper dabei höher. »»Der Ton eines Blaseinstrumentes««, sagt man, »»wird durch stärkeres Blasen in die Höhe getrieben.«« In beiden Fällen, bei Longitudinalschwingungen und bei Transversalschwingungen, wird also der Ton in seiner Höhe geändert, aber auf eine entgegengesetzte Weise.« Mit dem aber, was in dieser Stelle über die Saiten gesagt ist, steht in offenbarem Widerspruch, was derselbe in seiner »Vergleichung der Theorie der Saiten, Stäbe und Blaseinstrumente« in dens. Annal. Bd. 28. (104.) S. 5—7. über Compensation der Saiten sagt, wie man namentlich aus folgenden Stellen erkennen wird: »Wenn eine gespannte Saite wie gewöhnlich zwischen 2 unveränderlichen Punkten fixirt ist, und sie wird eingeschlagen, so nimmt dieselbe zwischen den beiden fixen Punkten eine krumme Lage an, und folglich eine grössere Länge, mit der nothwendig eine grössere Spannung verbunden ist. Der Einfluss dieser grössern Spannung muss desto merklicher werden, je grösser die Excursionsweite der schwingenden Saite ist, und folglich muss der Ton der Saite, wenn er stark ist, höher sein, als wenn er schwach ist. Wirklich ist dieser Unterschied sehr merklich, vorzüglich wenn die Saite einen niedern Grad der Spannung hat.« — »Die Theorie gibt Mittel an die Hand, die Schwingungen so zu modificiren, dass bei starken Schwingungen eine Compensation bewerkstelligt werde, und die grossen Schwingungen der Saite, der vermehrten Spannung ungeachtet, von gleicher Dauer seien, wie die kleinen Schwingungen der Saite.« Dieses Mittel besteht in einer solchen Einrichtung der beiden Stege, auf denen die Saite ruht, dass bei jeder ihrer Ausbeugungen, sowohl bei den aufwärts, als bei den abwärts gerich-

teten, sich je nach der verschiedenen Grösse der Ausbeugung ein grösseres oder kleineres Stück der Saite vom Stege abwikkele und somit die schwingende Saite der Grösse des Krümmung-Halbmessers proportional verlängert werde. »Durch diese Verlängerung der Saite wird aber die Schwingungsdauer der Saite vergrössert, welche durch die grössere Spannung verkleinert worden war, und es kommt nur darauf an, die Verhältnisse zu berechnen, unter welchen beide Einflüsse gleich und entgegengesetzt sind, und sich folglich compensiren, um praktische Regeln für den Bau solcher Instrumente zu gewinnen.« — Bei der Wahl zwischen beiden verschiedenen Ansichten wird man sich natürlich sogleich für die letztere als die richtige erklären, den Irrthum der erstern aber leicht daraus sich deuten, dass dabei bloss die Grösse der Ausbeugung, nicht aber zugleich die dadurch bewirkte momentane Vergrösserung der Spannung der Saite ins Auge gefasst wurde.

Anmerkung 2. Beiläufig erwähne ich hier, wo von der Tonhöhe der Stimmgabel die Rede ist, dass nach Cagniard-Latour's neueren akustischen Untersuchungen eine gehärtete (écroui) eiserne Stimmgabel transversal schwingend einen tiefern Ton gibt als eine angelassene, s. Poggendorff's Annal. Bd. 28. (104.) S. 239.

d) Wie bei den geraden Stäben (s. S. 195.), so findet auch bei den Stimmgabeln eine *Coëxistenz mehrerer Töne* Statt. Diese ist von zweierlei Art.

aa) Man vernimmt mit dem *Grundtone* zugleich mitklingende *höhere Töne*, die wie bei andern Körpern, so auch bei diesen, von dem gleichzeitigen Vorhandensein derjenigen Schwingungsarten herrühren, die diesen Tönen entsprechen. In welchem Verhältnisse diese hier möglichen höhern Töne zum Grundtone stehen, ist in der obigen Tabelle der Schwingungsarten dieser Körper gezeigt. Statt der dortigen Verhältnisszahlen aber, mit deren Quadraten jene Töne übereinkommen, kann

man auch die Zahlen 36, 225, 400, 525, 900, 1225 u. s. w., oder wenn der Grundton, statt durch 36, durch 1 ausgedrückt wird, 1, $6\frac{1}{4}$, $11\frac{1}{9}$, $17\frac{13}{36}$, 25, $34\frac{1}{36}$ u. s. w. als Verhältnisszahlen jener Töne aufstellen ([53]). Hierbei findet die Eigenthümlichkeit Statt, dass man es in gewisser Hinsicht ähnlich wie bei der S. 29 f. erwähnten Glas- oder Saitenharmonika, in seiner Gewalt hat, ob man die höhern Töne, wenigstens den S. 218 f. bei a erwähnten hohen Ton, oder ob man den Grundton stärker hören will. Denn stemmt man die angeschlagene Stimmgabel nicht auf einen Resonanzboden, und hält sie auch nicht nahe vor das Ohr, so hört man, je nach der verschiedenen Entfernung von dem letztern, jenen hohen Ton entweder stärker als den Grundton, oder jenen allein, diesen aber gar nicht; hält man sie aber sehr nahe an das Ohr, oder stemmt sie auf einen Resonanzboden, so ist der Grundton bei weitem der stärkere. Dass jener hohe Ton ohne Resonanz so stark vernehmbar ist, kommt daher, dass sich hohe Töne vorzugsweise der Luft mittheilen (vgl. S. 32.); dass er durch einen Resonanzboden nicht verstärkt wird, hat darin seinen Grund, dass der letztere nicht mit gleicher Schnelligkeit zu schwingen vermag (s. S. 41. Note 17.).

bb) Es kann mit dem *Grundtone* auch *ein um eine Octave tieferer Ton* vernehmbar werden. Dieser rührt aber nicht von einer besondern Schwingungsart her, sondern wird durch die nämliche Schwingungsart, welche den Grund-

---

53) *Chladni* S. 204.

ton hervorbringt, auf folgende Weise veranlasst. Es ist bei b S. 208 ff. der doppelten Bewegungsart des Stieles einer Stimmgabel gedacht worden. Bei seiner Totalbewegung bewegt er sich abwechselnd auf- und abwärts, jenachdem der zwischen den beiden Knotenlinien in der Biegung liegende Theil auf- oder abwärts seine Ausbeugung macht. Da nun alle Theile, worin ein schwingender Körper sich eintheilt, eine gleiche Anzahl von Schwingungen machen, so ist auch die Zahl der Ausbeugungen jenes Theiles, woran der Stiel befestigt ist, die nämliche, wie die der beiden Schenkel, und überhaupt der Schwingungszahl des Grundtons gleich. Ist z. B. der Grundton der Stimmgabel g, ein Ton, welcher 384 Schwingungen in jeder Secunde erfordert ([54]), so macht, wie jeder andere Theil, so auch der in der Biegung liegende 384 Schwingungen in 1 Secunde, wovon die eine Hälfte in aufwärts gerichteten, die andere in abwärts gerichteten Ausbeugungen besteht. Folglich bewegt sich auch der Stiel 192 Mal aufwärts und 192 Mal abwärts. Setzt man nun die schwingende Stimmgabel nicht wirklich auf den Resonanzboden auf, sondern bringt ihren Stiel demselben gleichsam nur unendlich nahe, so treffen nur die abwärts gerichteten Bewegungen des Stieles den Resonanzboden. Dieser empfängt daher bei jenem Grundton nur 192 Stösse, mithin halb so viel als die Gabel Schwingungen macht. Da das Ohr diese Stösse als einen besondern Ton vernimmt (vgl. §. 28.), so wird auf diese

54) *W. Weber* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 422.

Weise ausser dem Grundtone g zugleich dessen nächst tiefere Octave G (denn 192 ist die absolute Schwingungszahl dieses Tones) leise vernommen ([55]). Biot ([56]) nennt diesen letztern Ton den *secundären* Ton, im Gegensatz des *Haupt*- oder Grundtons der Gabel.

e) Der *praktische Gebrauch*, welcher von den Stimmgabeln in der Musik gemacht wird, ist von zweierlei Art.

aa) Sie können mit oder ohne Stiel zu den schon S. 183 f. u. 195. erwähnten, von Chladni erfundenen 2 musikalischen Instrumenten, Euphon und Clavicylinder, gebraucht werden, obgleich er wegen mancherlei dabei eintretender Schwierigkeiten im Allgemeinen ihre Anwendung dazu widerräth ([57]).

bb) Am häufigsten werden sie zur *Stimmung* anderer musikalischer Instrumente gebraucht, wodurch bekanntlich ihr Name *Stimmgabel* veranlasst ist. Mehr darüber s. unten.

Von den bisher erläuterten Schwingungen einer an beiden Enden freien Gabel gehen wir über zu denen

b) *einer an einem Ende angestemmten Gabel.*

Unter diesem Ende ist nicht ihr Stiel, welcher als blosses Anhängsel, nicht aber als ein wesentlicher Theil derselben zu betrachten ist, sondern das Ende eines ihrer Schenkel zu verstehen. Die hieher gehörigen Versuche Chladni's sind von zweierlei Art:

1) Die Gabel wird an dem Ende eines Schenkels mit den Fingern auf einen festen Gegenstand aufgestemmt.

---

55) Vgl. *Fischer*: über die Grundlehren der Akustik, in den Berlin. Abhandl. 1824. Phys. Cl. S. 115 f. Auf diesen tiefern Ton bezieht sich auch, was *Chladni* in s. Beytr. z. prakt. Akust. S. 65 f. von dem Vorschlagen eines tiefen Tones vor einem höhern, sagt.
56) Bd. II. S. 61.
57) Beytr. z. prakt. Akust. S. 84 ff. 158 ff. vgl. S. 66. 108., nebst Tab. II. und V.

Wird nun der andere Schenkel angeschlagen, so gibt sie einen Ton, der um eine Quinte tiefer ist, als der bei der einfachsten gewöhnlichen Schwingungsart (wobei die beiden Enden frei sind), wiewohl etwas dumpf und unvollkommen (58).

2) Das Ende des einen Schenkels einer Gabel (ohne Stiel) wird an das Ende des einen Schenkels einer andern Gabel, die ungefähr einerlei Ton gibt, und an Grösse und Stärke von jener nicht sehr verschieden ist, so angestemmt, dass die sich berührenden Enden nicht vor, sondern neben einander liegen. Diese Enden werden entweder mit den Fingern oder sonst auf irgend eine Art fest gegen einander gedrückt oder mit einem Faden zusammengebunden (am besten nicht bloss am Ende, sondern in einer Strecke, die wohl den dritten Theil der Länge eines jeden Schenkels der Gabeln betragen kann). Die Verbindung der beiden Gabeln ist hierbei von mehrerlei Art: 1) entweder liegen sie so neben einander, dass die Richtung ihrer Enden und ihre Biegung bei beiden dieselbe ist, und dass der rechte Schenkel der einen den linken Schenkel der andern auf die angegebene Weise berührt, so dass sie wie ein doppeltes U aussehen, wobei man aber die sich berührenden Schenkel etwas aus einander biegen oder einen Streifen von Eisen oder Holz dazwischen legen muss, damit nicht die beiden Schenkel ihrer ganzen Länge nach an einander stossen; 2) oder die Öffnungen der beiden Gabeln sind einander zugekehrt und beide etwas in einander geschoben, so dass sie eine ellipsenartige Figur bilden, wobei jedoch die beiden andern Schenkel sich nicht berühren dürfen und deshalb die Schenkel der einen

58) Beytr. z. prakt. Akust. S. 23 f.

Stimmgabel etwas weiter aus einander gebogen sein müssen, als die der andern; 3) oder die beiden Gabeln sind, während ihre Öffnungen eine entgegengekehrte Richtung haben, so mit einander verbunden, dass sie zusammen wie ein stark aus einander gedehntes, platt gedrücktes S aussehen; 4) oder die beiden Gabeln machen, statt in derselben Ebene sich zu befinden (wie in den vorigen Lagen), einen schiefen oder rechten Winkel mit einander. In allen diesen Fällen ist der Ton dieser beiden zu einem gemeinschaftlichen Klangsystem verbundenen Gabeln ebenfalls nur eine Quinte tiefer als der Ton einer jeden von diesen Gabeln bei ihrer gewöhnlichen einfachsten Schwingungsart, und zwar sehr deutlich, und bei gehörigem Verfahren mit vielem Nachhalle. Wenn die beiden Gabeln auch in Ansehung der Töne etwas verschieden sind, so findet doch dasselbe Statt, und es gleicht sich so aus, dass der Ton, welchen sie in ihrer Verbindung geben, um eine Quinte tiefer ist, als der, welcher zwischen den natürlichen Tönen der beiden Gabeln ungefähr in der Mitte stehen würde ([59]).

Anmerkung. Fast dasselbe Tonverhältniss, wie hier zwischen der an beiden Enden freien und der an einem Ende angestemmten Gabel Statt findet, waltet auch zwischen den beiden entsprechenden Haltungsweisen eines geraden Stabes ob. Denn bringt z. B. ein solcher, wenn er an beiden Enden frei ist, gis als Grundton hervor, so ist sein tiefster Ton, wenn er an einem Ende frei, am andern an einen festen Körper angestemmt ist, d (s. die obige Tabelle). Beide Töne liegen folglich um eine verminderte Quinte oder übermässige Quarte aus einander.

Alles bisher von den Gabeln Gesagte bezieht sich auf die gewöhnlichste Gestalt derselben, in welcher beide Schenkel gleiche Länge haben. — Über

---

59) S. Beytr. z. prakt. Akust. S. 24. u. Tab. I. Fig. 7. I. II. III.

2) *Transversalschwingungen einer ungleichschenkligen Gabel*,

d. h. einer solchen, bei deren Formung der gerade Stab nicht genau in der Mitte, sondern mehr oder weniger *nahe bei* ihr gebogen wurde, bemerkt Chladni ([60]) nur, dass, wenn der eine Schenkel beträchtlich länger ist, als der andere (wobei er auch gegen den kürzern Schenkel könnte umgebogen sein), dadurch die Knotenlinien von der Stelle, wo die Biegung ist, auf den längern Schenkel verrückt werden und etwas weiter aus einander gehen. Auch von diesen Gabeln ist ein praktischer Gebrauch gemacht worden, indem sie Quandt und von Meyer bei den von ihnen gebauten Euphonen als Klangstäbe angewandt haben ([61]).

Die Stäbe, welche Chladni *doppelt gekrümmte* nennt, vereinigen die Umbiegung der Enden und die gabelförmige Biegung in sich, und könnten in sofern als eine den bisher betrachteten zwei Classen nebenzuordnende dritte erscheinen. Da wir aber die krummen Stäbe nach der Stelle der Biegung des geraden Stabes, aus welchem sie entstanden sind, hier geordnet haben, so müssen wir diese der ersten Classe, nämlich derjenigen, wo die Biegung an den beiden Enden Statt gefunden, als eine Nebenart beizählen, weil auch bei diesen doppelt gekrümmten die Mitte keine Biegung erlitten hat, sondern die gabelförmige Biegung nur an dem einen bereits gekrümmten Ende als eine zweite Krümmung angebracht ist. Über die Schwingungsarten dieser gleichfalls zur Einrichtung eines Euphons brauchbaren Stäbe bemerkt Chladni nur, dass die Schwingungsarten mit 4, mit 6, oder überhaupt mit einer geraden Zahl von Knotenlinien eben dieselben

60) Beytr. z. prakt. Akust. S 23. vgl. S. 158 ff.

61) Ebend. S. 179. und Tab. V. Fig. 51. 53.

Resultate geben, wie bei an beiden Enden nur einfach gekrümmten Stäben die Schwingungsarten mit einer ungeraden Zahl von Knotenlinien ([62]).

Von dieser Betrachtung der in der Mitte gebogenen Stäbe gehen wir über zu den

c) *Stäben, welche ihrer ganzen Länge nach gebogen sind.*

Ein so gebogener Stab ist entweder *offen* oder beide Enden sind zu einem *Ringe* vereinigt.

1) *Transversalschwingungen eines so gebogenen offenen Stabes.*

Ein solcher Stab hat entweder die Gestalt eines Ringes, aus dem ein Theil herausgeschnitten ist, oder er ist spiralförmig. Beiderlei Biegungsarten erscheinen, von Seiten der Schwingungsart solcher Stäbe, als blosse Abänderungen derjenigen Biegungsart, wo bloss die Enden gekrümmt sind, besonders wo diese Enden so gegen einander zusammengebogen sind, dass das eine über das andere spiralförmig hinwegragt. Denn wie bei der letztern Biegungsart die beiden Knotenlinien der einfachsten Schwingungsart nahe bei einander liegen, so auch bei der hier zu erläuternden Biegungsart. Die beiden zuvor genannten Unterarten derselben unterscheiden sich dadurch von einander, dass bei der einem offenen Ringe gleichenden jene beiden Knotenlinien, der Öffnung gegenüber, in der Mitte nahe bei einander liegen (wie es bei jenen bloss an den Enden gekrümmten Stäben der Fall ist); dass dagegen bei der spiralförmigen Biegung, wobei ein Schenkel weit über den andern hervorragt, die beiden Knotenlinien nicht ebenso in der Mitte, sondern ungefähr dem Ende des über den andern hinwegragenden Schen-

62) Beytr. z. prakt. Akust. S. 168 f. und Tab. V. Fig. 59. 60., wo die Lage der Knotenlinien der beiden Schwingungsarten, welche 4 oder 6 bilden, angegeben ist.

kels gegenüber liegen. Derjenige Theil des andern Schenkels, über welchen der letztere Schenkel hinwegragt, ist demnach eigentlich nur als ein Anhängsel anzusehen, das ausser einiger Verzögerung der Schwingungen wenig Wirkung thut. Denn 1) die beiden Knotenlinien liegen fast so, als ob dieser innere Theil gar nicht da wäre; 2) nimmt man von diesem inwendig etwas weg, so wird dadurch der Ton weit weniger erhöht, als man verhältnissmässig erwarten sollte ([63]).

2) *Transversalschwingungen eines Ringes.*

Ein *Ring*, d. i. ein kreisförmig gebogener und in sich selbst übergehender Stab, theilt sich bei seinen Schwingungen in 4, 6, 8, 10 oder mehrere gleiche Theile ein. Legt man ihn horizontal auf eine Unterlage und versetzt ihn durch senkrechtes Streichen mit dem Violinbogen ([64]) in Transversalschwingungen, so erhält man, wenn sein tiefster Ton, d. h. der, welchen er bei seiner einfachsten Schwingungsart mit 4 Schwingungsknoten hervorbringt, c ist, folgende Töne:

4	6	8	10	12	14	
c	$\overline{\text{fis}}$	$\overline{\overline{\text{fis}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{\text{dis}}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{\text{a}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{dis}}}}}$	
3	5	7	9	11	13	u. s. w.

Die obern Zahlen zeigen eben sowohl die Knotenlinien, als auch die durch sie getrennten gleichen Theile an; die untern Zahlen dagegen sind die, mit deren Quadraten die Töne übereinkommen ([65]). — Wie sich die Töne eines so schwingenden Ringes zu denen eines transversal schwingenden geraden Stabes

63) Beytr. z. prakt. Akust. S. 26 f. und Tab. I. Fig. 9. I. II.

64) Dieses darf aber nicht gar zu nahe bei einer Knotenlinie geschehen. Denn nach *Chladni*: Beytr. z. prakt. Akust. S. 26. gilt bei allen Arten der Biegung, die man einem klingenden Körper geben kann, die Regel, dass die Stelle des klingenden Körpers, welche durch Streichen mittelbar oder unmittelbar in Bewegung gesetzt werden soll, der nächsten Knotenlinie (in gerader Linie betrachtet) nicht gar zu nahe sein darf, weil sonst der Klang sich gar zu schwer, oder wohl gar nicht hervorbringen lässt.

65) *Chladni*: Akust. S. 111 f.

verhalten, ist bereits S. 102. aus Chladni's Akustik angeführt, wo aber fis̄ statt fis zu lesen ist. Wird dagegen der Ring in der Richtung seines Durchmessers stark gestrichen, und dadurch nach dieser Richtung in Schwingung versetzt, so fallen die Töne etwas rauher und höher aus als bei der früher bezeichneten Art des Streichens ([66]).

Anmerkung. Das hier nach Chladni über die Schwingungen eines Ringes Gesagte ist, wie derselbe Seite 115. ausdrücklich bemerkt, eigentlich nur von Ringen, deren Dicke und Breite nicht sehr beträchtlich von einander verschieden sind, zu verstehen, wie z. B. von cylindrischen oder prismatischen ringförmig gebogenen Stäben, die in sich selbst übergehen. Ein Ring, der in der Richtung seines Durchmessers beträchtlich ausgedehnt und nach der andern Richtung dünn ist, würde vielmehr als eine runde, in der Mitte durchlöcherte Scheibe, und ein Ring, der nach der Richtung seines Durchmessers dünn, und nach der diesem rechtwinkelig entgegengesetzten Richtung beträchtlich ausgedehnt ist, würde als Röhre können angesehen werden, mithin ersterer zu den geraden, letzterer zu den krummen *Scheiben* gehören.

§ 22.

Schwingungsfiguren, insbesondere Klang- und Resonanzfiguren.

Bevor wir zu den flächenförmigen Körpern übergehen, müssen wir von den *Versichtbarungen ihrer Schwingungsarten* reden.

Die *Schwingungsarten dieser Körper* zerfallen wie bei den Stäben in

1) *primäre*, und diese wiederum in
   a) *tangential longitudinale,*
   b) *tangential transversale,*
   c) *tangential schiefe,*
   d) *schiefe,*
   e) *normale.*

---

66) *Chladni*: Akust. S. 114.

Die sechste Unterart, die *drehenden*, kommen hier nicht vor; denn dass diese Schwingungsart eines Stabes durch eine gewisse transversale Schwingungsart, z. B. einer Quadratscheibe, repräsentirt wird ([1]), beweist nicht das Vorhandensein der drehenden Schwingungen bei diesen Körpern.

2) *secundäre*, d. h. mit Beugung verbundene: *transversale*.

Von Seiten der *Erregung* sind diese Schwingungsarten einzutheilen in

1) *unmittelbar*, d. h. durch einen Stoss oder eine Reibung, erregte (vgl. § 4.),

2) *mittelbar*, d. h. durch einen schwingenden Körper, erregte.

Ausführlicheres über diese beiden Erregungsarten wird § 30. enthalten.

Von Seiten der *Töne* theilen wir die Schwingungen in

1) *selbsttönende*,

2) *resonirende*,

3) *klanglose*.

Versichtbart werden die Schwingungen gewöhnlich durch *Aufstreuung gewisser Materien*, indem sich diese dann während der Schwingungen des Körpers an gewissen Stellen anhäufen. Diese *Anhäufungen* selbst aber zerfallen in 2 Arten, die sich von einander unterscheiden 1) durch *Gestalt*, 2) *Lage*, 3) *Ursache* und 4) durch die *Mittel ihrer Versichtbarung*. Wir ordnen sie hier nach ihrer *Gestalt*. Von dieser Seite sind sie

1) entweder *linienförmige*. Sie bilden sich auf den *Grenzlinien der Theile*, in welche sich der schwingende Körper eintheilt. Ein jeder Körper ist einer grössern oder

1) *Chladni* S. 156. vgl. oben S. 156

geringern Menge von Eintheilungsweisen und folglich auch von Schwingungsweisen fähig, die theils einzeln, theils in Gemeinschaft gleichzeitig Statt finden. Alle diese zerfallen wieder von Seiten ihrer Einwirkung auf das Ohr in 2 Hauptarten:

a) in *vernehmbare* und

b) in *unvernehmbare.*

Vernehmbar können alle die genannt werden, welche bewirken, dass der schwingende Körper seinen Grundton oder einen seiner Flageolettöne entweder allein oder mit andern Tönen zugleich, und zwar entweder selbsttönend oder mittönend hören lässt. *Unvernehmbar* kann man alle die nennen, bei welchen entweder ein solcher gehört wird, der dieser Eintheilungsart nicht entspricht, folglich auch nicht von dieser, sondern von einer anderen Eintheilungsart herrührt; oder bei welchen gar kein Ton vernommen wird, weil entweder die bei dieser Eintheilungsart Statt findenden Schwingungen zu schwach sind, oder weil die diesen Eintheilungsarten entsprechenden und von ihnen bewirkten Töne zu hoch sind, als dass sie unser Ohr, bei den ihm gesetzten Schranken (s. S. 8 f.), vernehmen könnte ([2]). Man pflegt in diesem Falle die mit diesen Eintheilungsarten verbundenen Schwingungen »*Schwingungen einer höhern Ordnung*« zu nennen ([3]).

Da bei jeder Eintheilungsweise gewisse *Grenzlinien* entstehen, auf den letztern aber die *linienförmigen Anhäufungen* sich bilden, so müssen natürlich auch diese in Hinsicht der Töne in 2 Hauptarten zerfallen,

---

2) S. die Note 9. und 10. angeführten Äusserungen zweier Akustiker. 3) So z. B. *H.* und *W. Weber*: Wellenl. S. 563. — *W. Weber* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 296.

a) in solche, bei denen der schwingende Körper einen Ton gibt, mit welchem sie in einem gewissen Verhältnisse stehen;

b) in solche, bei denen entweder gar kein Ton oder ein solcher vernommen wird, mit dem sie in keinem Verhältnisse stehen. Zu dieser letztern Unterart gehören die Sandlinien, welche z. B. auf longitudinal gestrichenen Glasröhren und Glasstreifen in grosser Anzahl sich zeigen, auch wenn sie ihren tiefsten Ton geben ([4]).

Nur über den *Ursprung* der bei a genannten sind alle Akustiker darin einig, dass sie nach Aufstreuung einer passenden Materie, auf den *Grenzlinien von Theilen sich bilden, während diese durch sie getrennten Theile nach entgegengesetzten Richtungen schwingen* ([5]). Man nennt diese Grenzlinien *feste Linien* ([6]) oder *ruhende Linien*, *Ruhelinien* ([7]). In der durch diese Namen bezeichneten Eigenschaft liegt die Ursache, warum die beim Aufstreuen jener Materie auf diese Grenzlinien gefallenen Theilchen auf diesen Linien ruhig liegen bleiben und zugleich durch Theilchen, die auf den in jenen Richtungen schwingenden Theilen lagen, verstärkt werden, indem dieselben nach jenen Ruhelinien durch die schwingende Bewegung hingetrieben werden. Mit dem seit Chladni üblich gewordenen Ausdrucke *Knotenlinien* bezeichnet man sowohl jene Ruhelinien des Körpers selbst als auch die auf denselben gebildeten linienförmigen Anhäufungen der aufgestreuten Materie. — Über den Ursprung der bei b. genannten Classe von Linien, wenigstens der-

4) Ebend. S. 291., vgl. S. 292 f.

5) S. z. B. *Chladni* S. 121. — *W. Weber* a. a. O. S. 290.

6) *Chladni* S. 121.

7) *W. Weber* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 180. u. v. a. O. — *Faraday* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 197 f.

jenigen Unterart, wobei man einen Ton hört, der mit den sich zeigenden Linien in keinem Zusammenhange zu stehen scheint, finden noch Zweifel Statt. W. Weber vermuthet einmal, dass sie von den die Schwingungen begleitenden Stosswellen herrühren möchten ([8]); an anderen Stellen ist er geneigt, sie Schwingungen höherer Art, welche wegen ihrer zu grossen Schnelligkeit nicht mehr hörbar sind, zuzuschreiben ([9]). In Übereinstimmung mit dieser letztern Ansicht meint Biot, dass auch dieser zweiten Classe von Knotenlinien Töne entsprechen, die aber entweder zu hoch, oder zu schwach, oder zu sehr mit dem Munpttone verschmolzen sind, als dass wir sie wahrzunehmen vermöchten ([10]). Hiernach würde auch diese Classe von

---

8) Um jedes Missverständniss zu verhüten, theilen wir seine eigenen Worte hier mit aus dem angef. Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 290.: »Die bei *primär* (longitudinal) oder *sehr schwach secundär* schwingenden Körpern entstehenden, den Sand sammelnden, Linien sind zu unterscheiden von den Knotenlinien, welche *Chladni* bei *heftig secundär* (transversal) schwingenden Körpern beobachtet hat, und sie hängen wahrscheinlich gar nicht von der *stehenden primären* oder *secundären* Schwingung ab, von welcher der Ton herrührt, sondern von den bei beiden Schwingungsarten auf gleiche Weise Statt findenden Stosswellen.« 9) Die aus der bezeichneten Abhandlung hieher gehörenden Stellen sind S. 292.: »Die von *Savart*, bei longitudinal geriebenen Streifen, Röhren und Stäben nachgewiesenen, sammelnden Linien ändern den Ton, wenn sie dichter oder weniger dicht liegen, nicht ab; sie liegen vielmehr meistens so dicht, dass, wenn sie die Grenzen von entgegengesetzt schwingenden Abtheilungen wären, diese Abtheilungen so schnell schwingen müssten, dass gar kein hörbarer Ton mehr entstehen könnte.« Dasselbe wiederholt er nochmals S. 293. in besonderer Beziehung auf die primär (longitudinal) schwingenden Glasstreifen, sowohl die durch unmittelbares Reiben als auch die mittelbar in Schwingung versetzten, weil bei beiden Erregungsarten die erscheinenden Knotenlinien sehr dicht liegen. S. 293 f.: »Da die mannichfaltigsten Schwingungen in einem und demselben Körper zu gleicher Zeit Statt finden können, ohne dass sie einander stören; — da, wie bei tropfbar flüssigen Körpern auf den grössern Wellen eine unendliche Menge kleinerer vorhanden sind, eben so auf festen Körpern, die zum Tönen gebracht werden, ausser den grössern, den Ton gebenden Wellen eine unendliche Menge kleinerer vorhanden sein können, so ist es sehr wohl denkbar, dass Wellen von einer ganz andern Art, als die Ton gebenden, sich zu einer stehenden oder auch der der Resonanz ähnlichen Schwingung vereinigen, die aber viel zu schnell geschieht, als dass sie hörbar wäre. — An Glasröhren, die man durch longitudinales Reiben in eine *primäre* Schwingung versetzt, sieht man auf diese Weise eine grosse Anzahl dichter, die Glasröhre ringförmig umgebender Linien. Es ist daher wohl möglich, dass bei schwach tönenden Körpern zuweilen Sandfiguren entstehen, die nicht von den Ton gebenden Schwingungen, sondern von den unhörbaren Schwingungen einer höhern Ordnung herrühren.« Diese letzte Ansicht wird auch von *H.* und *W. Weber* in d. Wellenl. S. 555—63. aufgestellt. 10) Er sagt nämlich Bd. II. S. 58. (der Übers. *Fechner's*): »Die Art, wie sich auf sol-

Knotenlinien als Versichtbarungen fester Grenzlinien entgegengesetzt schwingender Theile betrachtet werden dürfen; eine Ansicht, die wir bereits bei der obigen Rubricirung der Eintheilungs- und Schwingungsarten der Körper ausgesprochen und zum Grunde gelegt haben.

Als Mittel beiderlei Arten von Grenzlinien zu versichtbaren, wird zwar gewöhnlich die erwähnte Aufstreuung gewisser Materien angewandt; es gibt indess noch 2 andere Mittel, die wir jetzt, nebst dem erstern, genauer betrachten wollen. Es dient dazu

a) *Aufstreuung einer körnigen Materie.* Unter den verschiedenen Materien dieser Art scheint der reine staubfreie gröbere (11) Quarzsand, und noch mehr der schwere magnetische Eisensand, welcher sich an den Küsten des Meeres und an den Ufern der Binnenseen der Ostseeländer findet, den Vorzug zu verdienen (12). Bei gebogenen Flächen, z. B. Cylindern, Glocken, wird der Sand angefeuchtet, um das Herabfallen zu verhüten (13). Um die Knotenlinien mit gehöriger Schärfe und Reinheit hervorzubringen, ist nothwendig, nur wenig Sand auf die Fläche zu streuen, höchstens so viel, dass etwa 3 bis

---

che Weise (bei der Longitudinalschwingung) jeder Stab, oder vielmehr jede Fläche, von selbst abtheilt, richtet sich nach der Stelle, an welcher man sie mit den Fingern berührt, um sie fest zu halten. In allen Fällen hört man nur einen einzigen vernehmlichen Ton, welcher der, durch die Berührung bedingten, Hauptabtheilungsart des Stabes entspricht. Jedoch deutet die Vielfachheit der Knotenlinien darauf hin, dass zugleich andere Töne entstehen, deren Schwingungen schneller als die des vernommenen Tones geschehen. Nicht unwahrscheinlich dürfte die Annahme sein, dass die unvernommenen Töne lauter Glieder der Tonreihe, welche der Stab hervorzubringen vermag, darstellen, aber vom Ohr nicht vernommen werden können, entweder weil sie zu hoch, oder weil sie zu schwach sind, oder auch, weil sie mit dem tiefsten Tone so verschmelzen, dass sie mit ihm nur Eine Empfindung hervorbringen.

11) *Chladni* S. 120. Die staubartigen feinsten Theile hindern nämlich die deutliche Erscheinung der Knotenlinien. Man entfernt diese Theile entweder durch Schlemmen des Sandes mit Wasser, oder dadurch, dass man denselben mehrere Male etwas hoch herabfallen lässt.

12) *Fechner*: Repert. I. S. 293.

13) *Baumgartner* Supplbd. S. 376. — *Fechner* a. a. O.

4 Körnchen auf die Quadratlinie kommen. Von dem regelmässigen Überstreuen und der gleichförmigen Vertheilung des Sandes hängt die Regelmässigkeit der Figuren von Seiten der Breite der Linien ab ([14]).

b) *Darüber-* oder, wenn der Körper hohl ist, *Hineingiessen einer tropfbaren Flüssigkeit*, auch *Eintauchen in eine solche.* Die Knotenlinien machen sich bei diesem Verfahren sichtbar durch das Kräuseln der Flüssigkeit. Streut man auf die Oberfläche der Flüssigkeit etwas Hexenmehl (pulvis lycopodii), so wird dadurch die Wirkung der Schwingungen auf dieselbe auf eine bleibendere Art sichtbar gemacht, und es entsteht eine Figur, welche auf die Zahl der Theile, in welche der schwingende Körper sich eintheilt, Beziehung hat. Am meisten wird dieses Verfahren bei gebogenen Flächen, z. B. bei Glocken, zu jenem Zwecke angewandt ([15]).

c) *Auf die Fläche fallendes Sonnenlicht.* Dieses Verfahren ist bei glänzenden Metallplatten anwendbar. Man lässt auf diese Sonnenlicht fallen und betrachtet das Bild der Sonne beim Schwingen der Scheibe. Auf einer ruhigen kreisförmigen, runden Scheibe erscheint dieses oval, beim Schwingen aber (falls sie eine sternförmige Klangfigur gibt) sternförmig ([16]).

Ehe wir auf eine genauere Betrachtung der durch diese linienförmigen Anhäufungen gebildeten Figuren eingehen, müssen wir erst noch die zweite Art der Anhäufungen aufgestreuter Materien ins Auge fassen:

2) die *flächenförmigen.* Sie bilden sich an denjenigen Stellen, wo die Excursionen der schwingenden Theile

---

14) *Baumgartner* a. a. O. — *Fechner* a. a. O.

15) *Chladni* S. 193. — *Baumgartner* S. 264., Supplbd. S. 376.

16) Diese Beobachtung hat *Savart* gemacht s. *Baumgartner* S. 264.

am grössten sind, und welche daher als die *Mittelpunkte der Schwingungen* (*Oscillations-* oder *Vibrationscentra*) angesehen werden können ([17]), nach Faraday auf folgende Weise. Streut man auf eine Platte ein feines Pulver, z. B. Lycopodium, und streicht dann, während man dieselbe horizontal hält, mit einem Violinbogen an der Mitte des einen Randes mehrere Male senkrecht herunter, so sammelt sich das Meiste von dem auf der Platte bleibenden Pulver an den Mittelpunkten der Schwingungen in Häufchen. So lange die Platte stark schwingt (und folglich tönt), bilden diese Häufchen eine etwas verworrene Wolke, welche sich mit ungemeiner Schnelligkeit in sich selbst bewegt; so wie aber die Schwingungen schwächer werden, ziehen sich diese Wolken beträchtlich zusammen und setzen dann mehrere Gruppen ab, von denen jede aus einem, zwei oder mehreren hemisphärischen Häufchen besteht, welche sich in einem ungewöhnlichen Zustande befinden; denn in jedem Häufchen steigt das Pulver in der Mitte in die Höhe und fällt nach allen Seiten hin wieder zu Boden, um hier auf's Neue in die Masse einzutreten und in der Mitte in die Höhe zu steigen; diess dauert so lange, als die Platte schwingt. Versetzt man die Platte in starke Schwingung, so brechen diese Häufchen sogleich auf, indem sie in die Höhe geschleudert werden, und Wolken bilden, welche sich wie zuvor ablagern; wenn aber die Platte durch ein gemässigteres Streichen mit dem Bogen in schwächere Schwingungen versetzt wird, so gerathen die hemisphärischen Häufchen in Bewegung, ohne sichtbar von der Platte getrennt zu werden, und oft wandern sie langsam auf die ruhenden Linien zu. Wenn ein oder mehrere Häufchen auf diese Weise

17) *Chladni* S. 122. und N. Beytr. S. 7 f.

von der Stelle, wo sich immer die Wolken bildeten, fortgerückt sind, und man streicht dann kräftiger mit dem Bogen, so dass die Wolken sich heben, so sieht man, dass diese Häufchen sich rasch verkleinern, indem die Theilchen, aus denen sie bestehen, aus einander stieben, und in einem Strom über der Platte zurückfliegen zu den sich bildenden Wolken, welche sich zuletzt auf die frühere Weise in vier Gruppen oder Häufchen absetzen ([18]). — Über die Ursache dieser *flächenförmigen Anhäufungen* (wie man sie wohl mit Recht nennen kann) sind die Akustiker bis jetzt noch nicht einerlei Meinung. Chladni und Savart meinen, die Ursache darin zu finden, dass der Mittelpunkt der Schwingungen der einzige Ort sei, wo die Platte beinahe eben und horizontal bleibe, wo also auch das aufgestreute Pulver vereinigt bleibe, während links und rechts von diesem Punkte die Fläche geneigt werde, mithin die Theilchen des Pulvers daselbst nicht liegen bleiben können ([19]). Faraday hingegen leitet jene Erscheinung davon ab, dass durch die Schwingungen des Körpers in dem ihn umgebenden Medium Ströme erzeugt werden, welche von Ruhelinien zu den Mittelpunkten oder Mittellinien der Schwingung, d. h. zu den Punkten der grössten Ausbeugung, gehen und, nachdem sie mehr oder weniger weit über die Platte hinausgeschritten sind, zu den Ruhelinien zurückkehren. Die Schnelligkeit dieser Ströme, der Abstand, zu dem sie sich an den Oscillationsmittelpunkten oder an irgend einem andern Punkte von der Platte erheben, das Ineinanderfliessen der dahinströmenden und zurückkehrenden Flüssigkeit, das Vermögen, leichte oder schwere Theilchen fortzuführen, und zwar mit grös-

---

18) *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 195 f. 19) *Chladni* S. 122. und *Faraday* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 198 f.

serer oder geringerer Schnelligkeit und Kraft, hängen ab von der Intensität der Vibrationen, von dem Medium, in welchem sich die vibrirende Platte befindet, von der Nähe des Oscillationsmittelpunkts an dem Rande der Platte, und von andern Umständen. Diese Ströme sind so mächtig, dass bei kräftigen Schwingungen die Platte um 5°, 6° oder 8° gegen den Horizont geneigt werden kann, ohne dass die sich zusammenballenden Wolken von ihrer Stelle weichen. So wie die Schwingungen schwächer werden, schreiten die kleinen, aus der Wolke gebildeten Häufchen den Abhang herab; sowie man aber die Schwingungen verstärkt, zerstreuen sie sich, indem sie auf der geneigten Ebene in die Höhe steigen und wiederum in die Wolke treten. Dieses findet selbst dann Statt, wenn weder Sand noch Feilicht auf den Ruhe- oder Knotenlinien liegen zu bleiben vermag ([20]). Alles dieses beweist, dass Chladni's und Savart's Ansicht unrichtig ist. Denn nach dieser würden 1) die beim Aufstreuen der Materie auf die Vibrationscentra gefallenen Theile auf diesen Stellen ruhig liegen bleiben müssen; 2) würden überhaupt nur diese Theile die Häufchen bilden, nicht aber noch die benachbarten dazu kommen können; 3) würde eine solche Anhäufung auf diesen Stellen durchaus nicht Statt finden können bei jenen der Platte versuchsweise absichtlich gegebenen Neigungen, welche um viele Mal grösser sind als diejenige, welche irgend ein Theil beim Schwingen in horizontaler Lage erlangt. Von allem diesem findet, dem obigen zufolge, das Gegentheil Statt.

Das bisher erwähnte Mittel, diese Mittelpunkte der Schwingungen durch Aufstreuung einer feinen Materie *sichtbar zu machen*, ist zwar das gewöhnliche, aber

20) *Faraday* a. a. O. S. 197 f.

nicht das alleinige, auch nicht bei jedem Medium, in welchem die schwingende Fläche sich befindet, das nämliche. Die verschiedenen Mittel, die man bis jetzt meines Wissens mit Erfolg hierzu angewandt hat, sind folgende:

a) *Aufstreuung einer feinen Materie*, die aber wieder, je nach dem verschiedenen Medium, in welchem die Fläche schwingt, sehr verschieden ist.

aa) Schwingt sie in der *Luft*, so eignen sich dazu Hexenmehl (Pulvis lycopodii) und andere leichte Pulver, chemisch reine und fein zertheilte Kieselerde, zartes Schabsel von einer Federpose oder von den Haaren des Violinbogens, feiner Staub, wie er unter dem Sande sich zu befinden pflegt, auch Zinnoxyd, Mennige, Schwerspath und andere schwere Substanzen, wenn sie sehr fein gepülvert sind ([21]).

bb) Bedeckt man hingegen die Fläche 2 bis 3 Zoll hoch mit einer *tropfbaren Flüssigkeit*, z. B. mit *Wasser*, wobei man sie auf eine die Schwingungen nicht hindernde Unterlage legt ([22]), und mittelst eines in der Mitte sie berührenden Körpers, den man longitudinal mit den Fingern streicht, in Schwingung versetzt ([23]), so sind nicht mehr feine und leichte Materien erforderlich, um die Mittelpunkte der Schwingungen zu versichtbaren; denn in diesem dichtern Medium bewegt sich auch auf-

---

21) S. *Faraday* S. 193 ff., und in Betreff des feinen Sandstaubes s. *Chladni* S. 122. und N. Beytr. S. 7. 22) Ist die Fläche ein fester Körper, so kann man 4 Korkfüsse als Unterlage gebrauchen, welche man an Punkten unterstellt, die in Knotenlinien fallen (s. *Faraday* a. a. O. S. 211.); bei Membranen bildet der Rahmen, auf den sie gespannt sind, die Unterlage. 23) Bei festen Flächen bedient man sich zu solcher Erregung der Schwingungen eines Glasstabes, den man auf die Mitte der Fläche senkrecht aufsetzt und mit angefeuchteten Fingern seiner Länge nach streicht. Membranen werden mittelst eines daran befestigten, mit den Fingern longitudinal gestrichenen Pferdehaares zum Schwingen gebracht. S. *Faraday* a. a. O. S. 211.

gestreutes Messingfeilicht und gewöhnlicher Sand von den ruhenden zu den schwingenden Theilen und häuft sich daselbst an, nicht bloss Wolken bildend über den Punkten der stärksten Schwingung, sondern auch, wenn die Schwingungen schwächer werden, sich niederlassend in wirbelnden Gruppen, ganz wie es ein leichtes Pulver in der Luft gethan hätte. Sogar Platinkörner sammeln sich in einem so dichten Medium als das Wasser auf den Vibrationsmittelpunkten an ([24]).

Anmerkung. Diese Verschiedenheit, dass, wenn die Fläche in der Luft schwingt, nur leichte Materien; wenn sie dagegen unter Wasser schwingt, so schwere Materien (die, wenn sie in der Luft schwingt, nur auf den Ruhelinien sich sammeln) auf den Vibrationscentris sich anhäufen, erklärt sich aus den von Faraday angenommenen Strömen, die während des Schwingens in dem die Fläche umgebenden Medium entstehen, sehr leicht. Denn die in dem Wasser so entstandenen Ströme haben natürlich mehr Kraft, als die in der Luft entstandenen wegen der grössern Dichtigkeit jenes Medii. — Ausserdem aber sprechen, nebst andern Thatsachen, vorzüglich die im luftleeren Raume angestellten Versuche für die Richtigkeit jener Ansicht Faraday's. Denn wird jenes Ansammeln der aufgestreuten Materie durch in dem umgebenden Medium erzeugte Ströme bewirkt, so muss dieses Ansammeln da unterbleiben, wo kein Medium vorhanden ist, in welchem Ströme sich bilden könnten. Diesem entsprechen die Versuche, welche Faraday in einem durch die Luftpumpe gebildeten leeren Raume angestellt hat, vollkommen. Das auf die Fläche gestreute feine Pulver ging beim Schwingen der Platte im luftleeren Raume nicht auf die Vibrationscentra, sondern auf die Ruhelinien, genau so wie es Sand in freier Luft gethan haben würde. Die ausführlichere Beschreibung dieser Versuche s. in s. Abh. »Über eine eigenthümliche Classe akustischer Figuren, und über gewisse Formen, welche Gruppen von Theilchen auf schwingenden elastischen Flächen annehmen«; in Poggendorff's Annal. Bd. 26. (102.) S. 208 f.

---

24) *Faraday* a. a. O. S. 211.

Ausser den genannten feinen Pulvern dienen zur Versichtbarung der Vibrationscentra

b) *tropfbare Flüssigkeiten.* Diese aber zeigen jene Mittelpunkte der Schwingungen auf zweierlei Weise an:

aa) durch einzelne *convexe Anhäufungen* auf denselben (ähnlich den Anhäufungen jener Pulver). Dergleichen zeigen sich aber, Faraday's Beobachtungen zufolge, keineswegs bei jeder Flüssigkeit, womit man den Körper, welchen man in Schwingung versetzen will, z. B. eine Platte, bedeckt, sondern nur bei zähen. Bedeckt man eine horizontal gehaltene Platte auf der obern Fläche mit Öl, so sammelt sich, wenn dieselbe mit dem Violinbogen in starke Schwingung versetzt wird, das Öl auf den Vibrationscentris, flüssige Linsen daselbst bildend, welche sich durch ihre Vergrösserungskraft sichtbar machen, wenn Druckschrift durch sie betrachtet wird, oder, wenn man ein Stück weissen Papiers darunter legt, aus der an den Anhäufungsstellen dunkleren Farbe des Öles sich erkennen lassen. Eben solche Linsen bilden sich an den Vibrationsmittelpunkten auch, wenn man statt der obern Fläche der Platte die untere mit Öl benetzt. Der hangende Öltropfen steigt, sobald die Platte in starke Schwingung versetzt wird, in die Höhe und bildet an jenen Punkten linsenartige Anhäufungen von derselben Gestalt, wie wenn sich das Öl auf der obern Fläche befindet. Bei Unterbrechung der Schwingung sammelte sich das Öl wiederum in hangende Tropfen. — Mit Eiweiss lassen sich dieselben Anhäufungen an den Vibrationsmittelpunkten erhalten ([25]).

---

25) *Faraday* S. 213—15. Dass eine solche Anhäufung sich namentlich nicht bei dem die schwingende Platte bedeckenden Wasser beobachten lässt, wird von *Faraday* S. 213.

bb) durch *Kräuselungen.* Bedeckt man nämlich eine Platte, die man horizontal hält oder auf an passenden (die Schwingung nicht hindernden) Stellen untergesetzte Korkfüsse oder hölzerne Stege legt, mit Wasser, und versetzt sie mittelst eines Violinbogens oder mittelst eines auf ihre Mitte (oder auch nahe bei der Mitte) senkrecht gestellten Glasstabes, den man longitudinal mit feuchten Fingern streicht ([26]), in starke Schwingung, so erscheint die Oberfläche des Wassers gekräuselt, zuerst auf den Vibrationsmittelpunkten ([27]) und dann, jenachdem die Schwingungen stärker oder schwächer sind, mehr oder weniger bis gegen die Knotenlinien hin. Die Kräuselung erscheint als kleine konische Erhöhungen von eben so grosser Seitenausdehnung, und gewöhnlich von ungemein regelmässiger rechtwinkliger Anordnung; sie sind (scheinbar) permanent ([28]), so lange ein gewisser Grad von Schwingung unterhalten wird, werden

---

daraus erklärt, dass bei diesem die Schwerkraft, verbunden mit der Beweglichkeit der Flüssigkeit, hinreichend sei, die Gleichförmigkeit der Wasserschicht nach der Fortziehung des die Schwingungen erregenden Violinbogens wieder herzustellen, ehe das Auge Zeit hat, die erwartete Convexität zu beobachten. 26) S. *Faraday's* Abh.: »Über die Formen und Zustände, welche Flüssigkeiten auf vibrirenden Flächen annehmen«, ebend. S. 221 ff. 27) Dieses ist wenigstens der gewöhnliche Fall. Wenn aber die Menge der Flüssigkeit an dem Orte der grössten Vibration klein, und an andern Stellen grösser ist, so fangen die Kräuselungen an diesen Stellen an. Ebend. S. 231. 28) Dass die Erhöhungen nur scheinbar, nicht aber wirklich permanent und ruhig sind, erkennt man, wenn man die Kräuselungen im Sonnenscheine hervorbringt oder mit einem starken künstlichen Lichte untersucht, und dabei das reflectirte Bild einer Erhöhung genauer betrachtet (wozu Dinte oder Quecksilber am passendsten sind). Die Erhöhungen werden vielmehr mit jeder Schwingung der Platte aufgerichtet und zerstört; sie sind ferner auch nicht alle zugleich vorhanden, sondern bilden (je nach dem Orte) 2 Reihen von gleicher Zahl und Anordnung, die niemals gleichzeitig, sondern abwechselnd Bestand haben, in einander übergehen, und durch die Schnelligkeit ihrer Wiederkehr den Schein einer gleichzeitigen und selbst permanenten Existenz hervorbringen. Ebend. S. 232 ff. Sind die Platten, mit denen man dergleichen Versuche anstellt, so gross, dass die Erhöhungen 2 oder mehrere Zoll im Durchmesser geben, so ist es schon beim blossen Anblick einleuchtend, dass die Erhöhungen nicht still stehen, sondern steigen und fallen; so wie auch, dass 2 Classen von ihnen, regelmässig und abwechselnd angeordnet, vorhanden sind, von denen die eine steigt, wenn die andere sinkt. Ebend. S. 235.

aber höher oder niedriger, jenachdem die Schwingung stärker oder schwächer wird, ändern jedoch dabei ihre Dicke nicht, obgleich sich währenddem die gesammte gekräuselte Fläche vergrössert oder verkleinert. Lässt man die Platte so schwingen, dass sie einen andern Ton gibt, so erscheinen ebenfalls Kräuselungen im Vibrationscentrum, kleinere bei einem höheren Tone ([29]), grössere bei einem tiefern. Bringt man auf Platten von ungleicher Grösse den nämlichen Ton durch verschiedene Schwingungsarten hervor, so erscheinen, wenn die übrigen Umstände gleich sind, Kräuselungen von gleicher Dimension ([30]). Verändert man aber auf einer und derselben Platte die Quantität der sie bedeckenden Flüssigkeit, so ändert sich sowohl die Anzahl als auch die Grösse der die Kräuselung bildenden Erhöhungen ([31]). — Zur Hervorbringung dieser Kräuselungen lassen sich viele, wenn nicht alle Flüssigkeiten anwenden, doch einige mit besonderem Vortheil. Man erhält sie mit Alkohol, Terpenthinöl, Eiweiss, verdünnter Dinte, Milch, Quecksilber ([32]). Kaltes Öl zeigt grosse Kräuselungen, nicht leicht aber kleine; allein bei Erwärmung (wobei es dünnflüssiger wird) erzeugt es dieselben ohne Weiteres ([33]). — Diese Kräuselungen bilden sich auf der untern Seite vibrirender Flächen so gut wie auf der oberen. Benetzt man die Unterfläche und streicht mit dem Bogen, so werden die durch ihre Schwere herabhangenden Tropfen gerieft; allein

29) Die Ursache hiervon erkennt man leicht. Wird nämlich die Zahl der Schwingungen in einer gegebenen Zeit vergrössert, wie dieses beim Höherwerden des Tones geschieht, so muss die Schwingung, um schneller zu sein, in einem kleinern Raume geschehen. Hiervon aber ist die Vermehrung der Erhöhungen in der Kräuselung eine nothwendige Folge. *Faraday* S. 238. 30) Ebend. S. 221. 31) Ebend. S. 227. 32) Ebend. S. 224 ff. 33) Ebend. S. 225. vgl. S. 246.

indem sie gleich darauf aus einander fliessen, bildet sich eine gewisse bestimmte Schicht, welche an den Vibrationsmittelpunkten schön gerieft oder gekräuselt ist (34). — Der Vorgang, durch den diese Kräuselungen gebildet werden, ist in gewisser Beziehung dem analog, durch welchen die bereits S. 239 ff. beschriebenen Ströme und wirbelnden Häufchen entstehen. Beim Emporsteigen sucht die Platte die auf ihr liegende Flüssigkeit zu heben, und beim Herabsinken von derselben zurückzuweichen; die Kraft, welche sie der Flüssigkeit mittheilt, kann sich, vermöge der physischen Beschaffenheit der letztern, von Theilchen zu Theilchen nach jeder Richtung fortpflanzen. Die Erhöhungen befinden sich im Maximo ihrer Erhebung gerade in dem Moment, wo die Platte beginnt von ihnen zurückzuweichen; ehe sie diese Bewegung herunterwärts vollendet hat, hat der atmosphärische Druck und der Krafttheil, welcher den Erhöhungen durch die Platte mittelst Adhäsion mitgetheilt worden ist, bereits gewirkt, und so wie also die Platte anfängt wieder emporzusteigen, stösst sie auf die in entgegengesetzter Richtung sich bewegenden Erhöhungen, welche in Folge hiervon sich nicht erhöhen, sondern sich seitwärts ausbreiten. Alle in Thätigkeit befindlichen Kräfte vereinigen sich, um an genau intermediären Punkten ein ähnliches System von Erhöhungen zu heben, die das Maximum ihrer Höhe genau in dem Augenblick erreichen, wo die Platte wieder anfängt zurückzuweichen; diese erleiden also eine ähnliche Art der Zerstörung, und wiederholen dabei genau alle Erscheinungen der ersten Erhöhun-

34) *Faraday* S. 321.

gen. Bei jeder Doppelschwingung (welche aus einer aufwärts und aus einer abwärts gehenden Schwingung der horizontalen Platte besteht) der Platte entsteht eins dieser beiden Systeme oder Classen von Erhöhungen, so dass bei 2 Doppelschwingungen der Cyclus der Veränderungen abläuft, indem bei der dritten Doppelschwingung dieselbe Classe von Erhöhungen, welche bei der ersten Doppelschwingung entstand; bei der vierten Doppelschwingung dieselbe Classe von Erhöhungen wie bei der zweiten Doppelschwingung wieder erscheint. Dieser Wechsel dauert so lange fort, als die Platte sich mit einer gewissen Stärke bewegt. Ein grosser Theil der Kraft wird dazu verwandt, diese Oscillationen der Flüssigkeit gegen den Widerstand, den die Cohäsion der Flüssigkeit, die Luft, die Reibung der Platte und andere Ursachen bewirken, aufrecht zu halten ([35]). — Die hier erläuterte Kräuselung ist vor Faraday bereits von Örsted ([36]), Wheatstone ([37]) und H. und W. Weber ([38]) beobachtet worden; wir sind hier den neuern Untersuchungen Faraday's ([39]) gefolgt.

Anmerkung. Die bisher genauer betrachteten Mittelpunkte oder Mittellinien der Schwingungen zeigen sich nicht bloss bei Platten, Membranen und andern flächenförmigen Körpern, sondern auch bei *Stäben*. Namentlich kann man dergleichen bei *Stimmgabeln* leicht beobachten. Lässt man eine solche schwingen, während man sie horizontal, mit der breiten Seite des einen Schenkels nach oben hält, und streut etwas Lycopodium auf

35) *Faraday* S. 235—37. vgl. S. 243 f. 36) Ebend. S. 220. 37) Annals of Philosophy, New series, T. VI. p. 82. 38) Wellenl. S. 414. 39) Seine Untersuchungen über diese Kräuselung hat er zugleich mit seinen Beobachtungen über die oben genannten andern Versichtbarungen der Vibrationscentra in den Philosoph. Transact. f. 1831, P. II. p. 299 sqq. bekannt gemacht, woraus sie in *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 193—251. aufgenommen sind.

dieselbe, so kann man das Anhäufen des Pulvers zu einer Wolke längs der Mitte, und die Bildung der wirbelnden Häufchen, ebenfalls längs einer Linie in der Mitte des schwingenden Stahlstabes, sehr gut wahrnehmen. Diese wirbelnde Bewegung, wobei die Theilchen jedes einzelnen Häufchens in der Mitte emporsteigen, sich ausbreiten, nach allen Seiten hin niederfallen und am Boden verschwinden, indem sie anscheinend einwärts fliegen, dauert so lange fort, bis die Schwingungen sehr schwach geworden sind. Bis dahin aber ist diese Bewegung auf einer Stimmgabel so gut wahrnehmbar, dass sie sich bei dem angegebenen Verfahren vorzugsweise zur Untersuchung eines einzelnen Häufchens eignet. S. Faraday in Poggendorff's Annal. Bd. 26. (102.) S. 202. 217.

In dem Bisherigen wurden die *linien-* und die *flächenförmigen Anhäufungen* nach ihrer *Ursache* und *Versichtbarung* erörtert. Ihre Lage wurde dabei nur in soweit gezeigt, als dieses die Nachweisung der *Ursache* dieser Anhäufungen erforderte; dass nämlich die *linienförmigen Anhäufungen* auf den *Ruhelinien* sich befinden, weil diese die Ursache jener sind; die *flächenförmigen* aber auf den *Mittelpunkten der Schwingungen* liegen. Es sind daher noch viele Punkte übrig, deren Kenntniss zur anschaulichen Übersicht dieses wichtigen Gegenstandes nöthig ist. Wir betrachten deshalb jetzt von jenen beiden Classen noch jede insbesondere.

A) Über die *linienförmigen Anhäufungen* (*Knotenlinien*).

Bei diesen sind folgende Punkte genau zu beachten:

a) ihre *Zahl*,

b) ihre *Lage*, d. h. auf welchem Orte der Fläche sie sich befinden,

c) ihre *Richtung*, d. h. ob sie z. B. auf einem länglichen Rechteck der Länge oder der Breite nach liegen,

d) ihre *Gestalt*, ob sie gerade oder krumm sind und, wenn Letzteres, welche Art von Krümmung sie haben

Die speciellere Angabe dieser 4 Punkte gehört in die Lehre von den Schwingungsarten der verschiedenen Classen von Flächen und wird daher, soweit es möglich ist, in den nächstfolgenden §§ gegeben werden. Hier können wir jene Punkte nur im Allgemeinen behandeln.

Vielfach sind die Umstände, die auf einen oder auf alle jene Punkte einwirken. Sie werden nämlich mehr oder weniger bedingt

a) von der *Qualität*

1) des schwingenden Körpers,

2) seiner Schwingungsart,

3) der Erregungsart dieser Schwingungen,

4) seiner Haltung;

b) von der *Quantität*

5) des schwingenden Körpers selbst,

6) seiner Schwingungen,

7) der sie erregenden Kraft,

8) des Druckes bei seiner Haltung.

1) Die *Qualität des schwingenden Körpers* und zwar beiderlei oben unterschiedene Arten derselben wirken ein.

a) Die *Qualität seiner Molecule* hat Einfluss

α) auf die *Gestalt der Knotenlinien.* Dieses zeigen die Versuche Savart's mit kreisrunden Scheiben, die aus Holz oder Krystallen (besonders Bergkrystall), in welchen sich 3 auf einander rechtwinkelige Elasticitätsaxen annehmen lassen, geschnitten sind. Er erhielt nämlich hierbei unter andern folgende Resultate: Befindet sich eine der Elasticitätsaxen in der Ebene der Scheibe, so besteht eine der durch Knotenlinien gebildeten Figuren aus 2 geraden, sich rechtwinkelig schneidenden Linien, von denen eine sich immer jener Axe parallel legt; die andere Figur

besteht aber aus 2 hyperbelähnlichen Curven. — Enthält die Scheibe keine der Axen in ihrer Ebene, so bestehen alle Mal beide Figuren aus hyperbolischen Curven, und niemals finden sich gerade Linien unter ihnen. — Wenn sich eine der Axen in der Ebene der Scheibe befindet, und die Elasticität senkrecht gegen diese Axe ebenso gross wie in derselben ist, so sind die beiden Figuren einander ähnlich; beide bestehen dann aus einem rechtwinkeligen Kreuze gerader Linien und liegen um 45° aus einander. — Was hier von den Scheiben, die aus Krystallen geschnitten sind, gesagt worden, gilt auch von Scheiben, die aus gegossenen Metallen bestehen (40). — Ferner beweisen diesen Einfluss der Qualität des Körpers auf jene Gestalt die Versuche von Marx mit Membranen aus Kautschuk, sofern, nach seiner Versicherung, die auf denselben hervorgebrachten Klangfiguren nirgends eine gerade Linie, sondern lauter Curven, aber keine Kreise zeigten (41), während nach Chladni auf Glasscheiben ausser Curven auch sehr oft gerade Linien und Kreise erscheinen.

Anmerkung. Hieraus erklärt sich vielleicht am ersten der Widerspruch Strehlke's gegen Chladni, indem er gegen den Letztern behauptet, dass stets nur krumme Knotenlinien sich bildeten, und dass diese sich nie durchschnitten. Er gebraucht metallene, Chladni dagegen Glasscheiben zu seinen Versuchen. Auf dieser Verschiedenheit des Stoffes ihrer Scheiben möchte daher wohl die Verschiedenheit ihrer Resultate beruhen. Strehlke's Abh. hierüber s. in Poggendorff's Annal.

---

40) *Fechner*: Repert. I. S. 294 f. vgl. S. 10. 30 ff. Die Abh. *Savart's*: »Untersuchung über die Elasticität der regelmässig krystallisirten Körper«, woraus diese und die nächstfolgenden Angaben *Fechner's* entnommen sind, findet man in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 206 ff. und die ihr verwandte: »Untersuchungen über das Gefüge der Metalle«, ebend. S. 248 ff.

41) S. *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 5. (65.) S. 152.

Bd. 4. (80.) S. 205 ff. Bd. 18. (94.) S. 198., und Chladni's Erwiederung auf die erstere ebend. Bd. 5. (81.) S. 345 ff. — Bemerkenswerth ist, dass Verminderung der Elasticität einer aufgespannten Membran durch Nassmachen derselben eine Beugung ihrer Knotenlinien bewirkt (s. W. Weber in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 185.), folglich ähnliche Wirkungen hat, wie bei einer Scheibe das Nicht-Vorhandensein einer Elasticitätsaxe.

β) Auf die *Lage und Richtung der Knotenlinien*. Dieses erhellet sowohl aus dem zuletzt erwähnten Resultate der gegenseitigen Entfernung der beiden Figuren, als auch aus dem, dass die Hauptaxe der curvenförmigen Knotenlinien sich immer in die Richtung der kleinsten Elasticität stellt. — Dergleichen bestimmte Lagen der Knotenlinien finden nicht bloss auf Scheiben Statt, die aus Holz oder Krystallen geschnitten sind, sondern auch auf solchen, die aus gegossenen Metallen bestehen ([42]).

Dass auch

b) die *Qualität der Form* Einfluss auf die Knotenlinien hat, zeigt schon eine flüchtige Vergleichung der von Chladni und Andern bekannt gemachten Abbildungen der Klangfiguren gerader und runder Scheiben.

2) Auch die *Qualität der Schwingungsart* hat Einfluss auf die *Zahl, Lage, Richtung* und *Gestalt der Knotenlinien*, wie in Betreff der *primären* Schwingungsarten Savart's Versuche mit Platten, die er durch eine mit ihnen verbundene schwingende Saite in Schwingung versetzte, aufs bestimmteste dargethan haben. Die Knotenlinien ändern sich, jenachdem die Platte tangential longitudinal, oder tangential transversal, oder schief (und hier

42) *Fechner* ebend. S. 295.

wiederum, jenachdem der die Saite streichende Violinbogen z. B. um 20° oder um 45° gegen die Fläche der Platte geneigt wird), oder normal schwingt, obgleich der Ton derselbe bleibt ([43]).

3) Die *Qualität der Erregungsart der Schwingungen* hat gleichfalls bedeutenden Einfluss auf die Knotenlinien. Zu jener Qualität der Schwingungserregung rechnen wir zweierlei;

a) ob die Schwingung *unmittelbar* durch Stösse oder Reibungen, oder *mittelbar* durch einen klingenden Körper erregt wird;

b) ob der die Schwingung erregende Körper den zu erregenden an dieser oder jener *Stelle*, in dieser oder jener *Richtung* berührt.

Dass der bei a. genannte Punkt Einfluss auf die Knotenlinien habe, erkennt man aus der theilweisen Verschiedenheit der *Klang*- und *Resonanzfiguren* (welche letztern stets durch mittelbare Schwingungserregung entstehen), wovon weiter unten noch besonders wird geredet werden. — Der Einfluss des bei b. bezeichneten Umstandes zeigt sich bei der unmittelbaren Schwingungserregung, z. B. der Scheiben, sogleich bei Veränderung der Stelle, wo man sie mit dem Violinbogen streicht ([44]); bei Membranen, z. B. bei der geringsten Veränderung des Ortes, wo sie von dem sie in Schwingung versetzenden Luftstrome getroffen werden ([45]). Bei der mittelbaren Schwingungserregung erkennt man den Einfluss jenes Umstandes theils aus Veränderung der Knotenlinien, jenachdem der klingende Körper senkrecht, oder horizontal, oder schief gegen ihn

---

43) S. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 407 ff. und Tab. II. Fig. 17—20. 22—25., wo die Knotenlinien abgebildet sind, während Fig. 16. und 21. den Apparat zeigen, wo sie hervorgebracht wurden. Dieselben Experimente *Savart's* erwähnt auch *Biot* Bd. II. S. 109., aber kürzer.

44) *Chladni* S. 119. u. a. a. O. — *Baumgartner* S. 264.

45) *Marx* in *Schweigger-Seidel's* Neuem Jahrb. Bd. 6. (66.) S. 112 f.

gerichtet ist, z. B. aus der Verschiedenheit der Resonanzfiguren, welche man erhält, jenachdem man die Saiten in der einen oder andern Richtung mit einem Resonanzboden verbindet; theils aus Veränderung der Knotenlinien, jenachdem man an diese oder jene Stelle, z. B. einer Membran, den ihre Schwingungen erregenden klingenden Körper, z. B. eine Stimmgabel ([46]) oder eine tönende Glocke ([47]), hält.

4) Die *Qualität der Haltung* wirkt sehr auf *Zahl, Lage, Richtung und Gestalt* der Knotenlinien. Dieses gilt von beiderlei Arten, worein wir die Qualität der Haltung eintheilen,

a) von der *Haltung der Enden.* Diese sind entweder frei, oder angestemmt, oder fest, und zwar entweder beide, oder das eine ist frei, das andere angestemmt oder fest, oder das eine angestemmt, das andere fest ([48]);

b) von der *Haltung des Innern.* Diese ist höchst vielfach, da eine an beiden Enden freie, wie auch eine an dem einen Ende freie, an dem andern Ende angestemmte Scheibe (auch eine an dem einen Ende befestigte) an sehr verschiedenen Orten ihres innern Raumes gehalten werden kann ([49]). Wegen dieses Einflusses des Ortes der Haltung und des Ortes des Bogenstrichs auf die Klangfigur pflegt man beide Stellen zu bezeichnen, um sowohl sich selbst, als

---

46) *Marx* S. 116. 47) *W. Weber* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 185. 48) *Chladni* S. 124 f. 49) *Chladni* bemerkt hierüber z. B. N. Beytr. S. 39.: »Zur Hervorbringung der Klangfiguren ist es erforderlich, die Scheibe an einer Stelle, auf welche eine Knotenlinie fällt, am besten an einer Stelle, wo sich Knotenlinien schneiden, zu halten, und eine nicht weit davon entfernte Stelle des Randes, wo die Mitte eines schwingenden Theiles ist, mit dem Violinbogen zu streichen. In den Fällen, wo mehrere Schwingungsarten dieselben Stellen des Haltens und des Streichens mit einander gemein haben, muss man zugleich durch Berührung solcher Stellen, die bei der Schwingungsart, die man hervorbringen will, nicht aber bei den andern, in Ruhe bleiben, diese andern wegdämpfen.« Speciellere Angaben der Stellen des Haltens und Streichens s. ebend. S. 40 ff. und in d. Akust. S. 119 ff.

auch Andere in den Stand zu setzen, dieselbe Figur wieder hervorzubringen.

5) Die *Quantität des schwingenden Körpers* wirkt auf die Knotenlinien ein von beiderlei Seiten, die wir bei derselben unterscheiden können,

a) von Seiten des *Umfangs*, indem z. B. gewisse sehr verwickelte Figuren leichter oder nur auf grössern Scheiben sich hervorbringen lassen (s. Chladni S. 119.);

b) von Seiten der *Dicke*, und zwar dieses schon in sofern, als an recht dünnen Scheiben die Schwingungsarten sich leichter hervorbringen lassen ([50]), diese mithin auch einer grössern Menge von Klangfiguren fähig sind. Besonders aber kommt es, um regelmässige Figuren zu erhalten, auf durchgängige Gleichmässigkeit der Dicke an ([51]).

6) Die *Quantität der Schwingungen* bedingt besonders die *Zahl* der Knotenlinien, weil sich der Körper, jenachdem er schneller oder langsamer schwingt, in eine grössere oder kleinere Anzahl von Theilen eintheilt, wie die bei den Scheiben aufgestellte Tabelle zeigt, indem bei den durch die schnellern Schwingungen bewirkten höhern Tönen auch die Zahl der Knotenlinien zu steigen pflegt.

7) Die *Quantität der die Schwingungen erregenden Kraft und ihrer Bewegung* wirkt auf die Knotenlinien ein. Wenn z. B. an einer Scheibe bei derselben Art des Hal-

---

50) *Chladni*: N. Beytr. S. 39. — Nach *Marx* erzeugen sich bei Membranen (aus Kautschuk) von verschiedener Dicke und Spannung bei denselben Tönen ganz verschiedene Figuren, s. *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 5. (65.) S. 153.

51) Ebend. S. 39. — Deswegen scheinen, wenn es darauf ankommt, regelmässige und symmetrische Figuren zu erlangen, Metallscheiben sich weniger zu eignen als Glasscheiben, indem erstere zu diesem Zwecke nicht leicht von hinlänglich gleichförmiger Dicke und Consistenz erlangt werden können. S. *Chladni* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 5. (81.) S. 345. — *Fechner*: Repert. I. S. 291.

tens und Streichens einfachere Schwingungsarten, die tiefere Töne geben, und zusammengesetztere, die höhere Töne geben, erscheinen können, so werden erstere besser durch einen langsamern Bogenstrich mit vielem Drucke, und letztere besser durch einen schnellern Bogenstrich mit wenigerem Drucke hervorgebracht werden können ([52]). Eben so bewirkt z. B. bei einer durch einen Luftstrom in Schwingung versetzten Membran ein schwächerer Luftstrom tiefere Töne und zugleich einfachere Klangfiguren, ein stärkerer höhere Töne und zusammengesetztere Figuren ([53]).

8) Die *Quantität des Druckes bei der Haltung* einer Scheibe modificirt namentlich die *Gestalt* der Knotenlinien. Denn bedient man sich zum Halten der Scheibe, statt die Finger dazu anzuwenden, eines Instruments (wozu Chladni einen Apparat, der wie eine doppelte hölzerne Zwinge gestaltet ist ([54]), vorschlägt, welcher Haltung jedoch stets die mit den Fingern vorzuziehen ist ([55])), so kann das stärkere oder schwächere Einspannen der Scheibe in dasselbe die Gestalt der Linien ändern ([56]).

Nachdem wir so die verschiedenen Punkte, wodurch die Knotenlinien nach *Zahl*, *Lage*, *Richtung* und *Gestalt* bedingt werden, im Allgemeinen angegeben, wiederholen wir die schon oben nach H. und W. Weber ([57]) aufgestellte Eintheilung der durch Knotenlinien gebildeten Figuren in

1) *Klangfiguren*,

2) *Resonanzfiguren*,

3) *tonlose Figuren*,

---

52) *Chladni* ebend. S. 40. 53) *Marx* a. a. O. S. 11 ff. 54) *Chladni* S. 120. und Tab. III. Fig. 44. 55) Ebend. und in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 5. (81.) S. 348. — *Fechner* a. a. O. S. 292. 56) S. *Fechner* a. a. O. 57) In deren Wellenl. und in *Schweigger*'s und *Schweigger-Seidel*'s Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 185 f.

welche Classen wir jetzt noch einzeln in der Kürze betrachten wollen.

1) *Klangfiguren.*

So nennt man kurzweg, statt des längern Ausdrucks »*Klangfiguren des Selbsttönens*«, die durch Knotenlinien auf selbsttönenden Körpern gebildeten Figuren. Bei diesen haben wir zweierlei Punkte ins Auge zu fassen: ihre *Gestalt* und ihr *Verhältniss zu dem dabei vernehmbaren Tone.* Wir reden zuerst vom letztern.

a) Ihr *Tonverhältniss.*

Es muss den folgenden §§ vorbehalten bleiben, specieller das Verhältniss der verschiedenen Klangfiguren zu den Tönen, die beim Erscheinen derselben vernommen werden, zu zeigen. Hier kann darüber nur im Allgemeinen geredet werden. Zunächst ist vor dem Missverständniss zu warnen, als ob jeder Ton an und für sich selbst eine gewisse Figur gebe, z. B. der eine die eines Kreuzes, ein anderer die eines Sternes, ein anderer die eines Zirkels u. s. w., und als ob man z. B. an einer Scheibe durch verschiedene Arten des Greifens nach Belieben die Töne, etwa c, cis, d, dis u. s. w., hervorbringen könne. Es verhält sich aber vielmehr mit den flächenförmigen Körpern eben so wie z. B. mit den Saiten und Stäben. Diese sind, wie oben erwähnt ist, ausser der Schwingungsart, wo sie ungetheilt schwingen, verschiedener Eintheilungsarten während ihres Schwingens fähig, die sowohl unter einander als auch zu jener ersten ohne Theilung vollbrachten in einem gewissen Tonverhältnisse stehen, welches z. B. bei den Saiten mit der natürlichen Zahlenreihe übereinkommt, wenn man den Grundton mit 1; den, wobei die Saite in 2 Theile sich eintheilt, mit 2 u. s. w. bezeichnet, wie Seite 110. geschehen. Dieses *Tonverhältniss* bleibt bei allen Saiten dasselbe, d. h. stets verhält sich ihr Grundton zu demjenigen, welcher ertönt, wenn sie in 2 Theile sich eintheilt, wie 1 : 2; allein

die *Töne* selbst, welche in diesem Verhältniss zu einander stehen, können bei den einzelnen Saiten sehr verschiedene sein, da ungeachtet jenes gemeinsamen Verhältnisses Länge, Dicke, Spannung und specifisches Gewicht sehr verschieden sein können. Eben so ist auch eine Scheibe gewisser Eintheilungsarten fähig, wobei auf den Grenzlinien der Theile, nach Aufstreuung einer der oben genannten Materien, Knotenlinien erscheinen, die nach der verschiedenen Anzahl der Theile eine einfachere oder zusammengesetztere Figur bilden. Wie nun jene Eintheilungsarten, oder, was dasselbe besagt, jene Schwingungsarten, als die Ursachen, so müssen auch die *durch die Knotenlinien gebildeten Figuren* als die Wirkungen *unter einander in einem bestimmten Tonverhältnisse stehen.* So verhalten sich z. B. bei einer Quadratscheibe die Schwingungsarten, wo nur nach Einer Richtung 2, 3, 4, 5 u. s. w. Knotenlinien sich bilden, mithin auch diese Klangfiguren selbst zu einander von Seiten ihrer Töne wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 u. s. w. Die *Töne* selbst aber können, weil sie nicht bloss von jener Eintheilungsart, sondern zugleich von dem Umfange, der Dicke und Elasticität der Scheiben abhängen, dabei sehr verschieden sein, und müssen es z. B. bei 2 Scheiben von gleicher Theilungsart sein, wenn beide in einem dieser andern einflussreichen Stücke von einander abweichen. Andererseits können z. B. 2 in einem dieser übrigen Stücke einander ungleiche Scheiben bei ungleicher Theilungsart gleiche Töne geben, eben so wie z. B. 2 übrigens einander gleiche Saiten, wovon aber die eine doppelt so lang als die andere ist, denselben Ton geben, wenn die kürzere beim Schwingen in 2, die längere in 4 Theile sich eintheilt, weil die Vierteltheile der letztern mit den Hälften der erstern gleiche Länge haben.

Nachdem wir hierdurch den ersten Theil des oben erwähnten häufigen Missverständnisses widerlegt haben, müssen wir noch dem andern entgegentreten, als ob auf jedem

flächenförmigen Körper jeder beliebige Ton hervorgebracht werden könne. Dieses ist aber eben so unmöglich, als wenn man bei einer transversal schwingenden Saite durch blosse Änderung ihrer Schwingungsart die zwischen ihrem Grundtone und ihrem ersten Flageolettone, die genau um eine Octave von einander entfernt sind (s. S. 110.), liegenden Töne hervorbringen wollte. Erst bei den höhern Theilungsarten liegen die Töne so nahe neben einander, dass sie eine diatonische, und bei den noch höhern eine chromatische Fortschreitung bilden. Eben so verhält es sich mit den flächenförmigen Körpern. Denn auch bei diesen können nur solche Töne oder vielmehr Tonverhältnisse hervorgebracht werden, welche den Eintheilungsarten und den damit in enger Verbindung stehenden Figuren zukommen ([58]). — Hiermit steht nicht in Widerspruch, dass, nach Marx Versicherung, eine nach der von ihm entdeckten Weise zubereitete und in Schwingung gesetzte Membran für beinahe alle möglichen Töne ausreicht, sondern beweist nur, dass dieselben der mannichfachsten Eintheilungsarten fähig sind (vgl. § 23. S. 281.).

Im Allgemeinen gilt, was die Höhe der mit den Klangfiguren verbundenen Töne betrifft, als Regel, dass der Ton eines Körpers desto tiefer ist, je einfacher die auf ihm erscheinende Klangfigur ist; desto höher aber, je zusammengesetzter und verwickelter diese sich zeigt ([59]), weil er sich im letztern Falle in kleinere Theile als im erstern eintheilt.

b) Ihre *Gestalt*.

Charakter der Klangfiguren ist ihre *Regelmässigkeit* und *Symmetrie*. Diese hat darin ihren Grund, dass die Theile, in welche sich ein klingender Körper eintheilt, und

---

58) S. *Chladni* in d. Cäcilia. Bd. V. Heft 17. S. 1 ff. 59) *H.* und *W. Weber*: Wellenl. S. 541. — *Marx* in *Schweigger-Seidel*'s N. Jahrb. Bd. 5. (65.) S. 153. — Vgl. die § 24. aufgestellte Tabelle.

welche auch bei diesen flächenförmigen eben so wie bei den früher erläuterten Körpern abwechselnd nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, im Gleichgewichte stehen müssen, um in gleichen Zeiträumen schwingen zu können. Dieses ist aber nicht so zu verstehen, als ob die schwingenden Theile einerlei absolute Grösse haben müssten, sondern es ist nur ein relatives Gleichgewicht, indem die am Rande liegenden Theile alle Mal kleiner und zwar nur ungefähr halb so gross sind, als Theile, die zwischen festen Grenzen eingeschlossen sind, und die Theile an den Ecken haben wieder nur die Hälfte der Grösse jener Randtheile, weil sie nach zwei Richtungen frei sind ([60]).

Bei allen Arten von geraden flächenförmigen Körpern haben alle möglichen Klangfiguren Beziehung auf Linien, die quer hindurch gehen, oder auf Linien, die mit der Circumferenz oder mit Theilen derselben parallel gehen. So bestehen z. B. alle möglichen Klangfiguren einer runden Scheibe aus Diametrallinien und Kreislinien; an einer halbrunden aus Radien und Halbkreisen; an einer rechteckigen Scheibe aus Linien in die Länge oder in die Quere u. s. w., falls diese Scheiben frei schwingen. Ein Blick auf die von Chladni gegebenen Abbildungen von Klangfiguren zeigt indess, dass dieselben keineswegs immer so regelmässig sich gestalten, als man nach dem bisher Gesagten erwarten könnte, sondern mancherlei *Abänderungen* oder *Verzerrungen* erleiden. Dieses rührt von verschiedenen Ursachen her, die wir hier kurz zusammenstellen.

1) Zwei gerade Linien oder Theile von geraden Linien können sich biegen, diese Biegungen sich mit einander vereinigen, sodann sich wieder trennen, und entweder in dieser Trennung oder in jener Vereinigung wiederum in gerade Linien übergehen. Jene Biegung ge-

60) *Chladni*: N. Beytr. S. 7.

schieht entweder *einwärts* oder *auswärts*. Im erstern Falle wird die Linie folglich *concav*, im zweiten *convex*. Beiderlei Übergänge überblickt man am leichtesten in folgenden von Chladni aufgestellten Reihen:

Übergänge durch Concavität:

= ⩙ ×)(||

Übergänge durch Convexität:

= ◌ ○ () ||

Diese Grundzüge sind gleichsam als das Alphabet zum Verständnisse der Klangfiguren anzusehen. Was hier einfach dargestellt ist, kann bei zusammengesetzten Figuren sich wiederholt und in allen Abstufungen zeigen. Bei mancher Schwingungsart lassen sich diese Übergänge ohne Veränderung des Tones durch eine geringe Veränderung der Haltungsstelle bewirken. Manche Schwingungsarten und Reihen von Schwingungsarten (an einer Quadratscheibe die meisten von denen, wo die Summe der vorhandenen Knotenlinien eine gerade Zahl ist) zeigen sich nie anders, als *mit einer möglichst concaven oder möglichst convexen Figur, und im erstern Falle ist der Ton allemal tiefer, als im letztern* ([61]). — Es darf übrigens nicht unerwähnt bleiben, dass über die *Geradlinigkeit* und das *sich Durchschneiden* der Linien nicht alle Chladni's Meinung sind. Strehlke behauptet ([62]), dass die Kno-

61) *Chladni* S. 123. und Tab. III. Fig. 45., und N. Beytr. S. 5. 8 f. und Tab. IV. Fig. 66. a. b. und in *Poggendorff's* Annal. Bd. 5. (81.) S. 349 f.

62) In s. Aufs.: »Beobachtungen über die Klangfiguren auf ebenen, nach allen Dimensionen schwingenden homogenen Scheiben«, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 4. (80.) S. 212. und in s. Aufs: »Über Klangfiguren auf Quadratscheiben«, ebend. Bd. 18. (94.) S. 198. Gegen den erstern ist *Chladni's* Aufs.: »Bemerkungen über die Klangfiguren der Scheiben«, ebend. Bd. 5. (81.) S. 345 ff. gerichtet. — In Bezug auf mittelbar erschütterte Membranen versichert auch *W. Weber*, nie einen wirklichen Durchschnitt der ruhenden Linien gefunden zu haben, s. *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 185. — *Savart* dagegen beobachtete sich rechtwinkelig durchschneidende Linien auf den von ihm untersuchten Scheiben aus Körpern von nach verschiedenen Richtungen verschiedener Elasticität, s. *Fechner*: Repert. I. S. 294.

tenlinien nie gerade, sondern stets krumme Linien sind, und dass sie sich nie durchschneiden.

2) Eine häufige Ursache der Unregelmässigkeit der Klangfiguren ist die Ungleichförmigkeit der Dicke und die Ungleichartigkeit der Structur der schwingenden Flächen ([63]).

3) Bei Scheiben aus Körpern von nach verschiedenen Richtungen verschiedener Elasticität beruht die Gerad- oder hyperbelähnliche Krummlinigkeit darauf, ob sich eine der Elasticitätsaxen in der Ebene der Scheibe befindet oder nicht ([64]).

4) Oft rührt die Verzerrung der Klangfigur davon her, dass die Scheibe nicht an dem für die eben hervorgebrachte Schwingungsart passendsten Orte gehalten, oder mit dem die Schwingung erregenden Violinbogen nicht auf die rechte Art oder an der rechten Stelle gestrichen wird ([65]).

Da nach Chladni diese Abänderungen der Gestalt, mit Ausnahme der mit der concaven Biegung verbundenen Vertiefung und der mit der convexen verknüpften Erhöhung des Tones bei gewissen Schwingungsarten, den Ton unverändert lassen, so betrachtet er diejenige unter solchen *gleichtönenden Klangfiguren*, welche am regelmässigsten erscheint, als die *Grundfigur* oder *Grundform*, und die übrigen als blosse *Abänderungen* oder *Verzerrungen* derselben ([66]). Die *Gleichtönigkeit* dieser als verzerrt betrachteten Figuren und jener nicht verzerrten bestreitet Savart, und behauptet, die, welche Chladni Verzer-

63) *Chladni*: N. Beytr. S. 8. und in *Poggendorff's* Annal. Bd. 5. (81.) S. 347. — *Fechner* a. a. O. S. 291. 295.

64) *Fechner* a. a. O. S. 294. S. oben S. 250 f.

65) *Chladni* S. 122. und N. Beytr. S. 8 f. 22.

66) Zahlreiche Beispiele solcher als verzerrt betrachteten Klangfiguren stellt er in seinen Abbildungen auf, s. z. B. a. Akust. Tab. III. Fig. 62. Tab. IV. Fig. 66—68. Tab. V. Fig. 71—74. 79—81. 87—89. Tab. VIII. Fig. 157. 158. 163. 169—77. und N. Beytr. Tab. I. Fig. 6. 9. 13. 16. 19. Tab. II. Fig. 21. 24. 26. 31. 34—37. Tab. III. Fig. 40. 44. 48. 55.

rungen nenne, bildeten vielmehr den Übergang zwischen zwei verschiedenen, nicht verzerrten Klangfiguren (denen verschiedene Flageolettöne zukommen). Diesen Widerspruch zwischen beiden gleicht W. Weber dadurch aus, dass er daran erinnert, Chladni betrachte immer bloss die *tönenden Schwingungen*, diese aber seien stets die *gleichförmigsten* und *heftigsten stehenden Schwingungen*. Von einer solchen tönenden Schwingung aber zu einer ganz andern (einen viel höhern oder tiefern Ton hervorbringengenden) tönenden Schwingung gebe es keinen Übergang durch lauter *tönende* Schwingungen, wohl aber durch eine Reihe *nicht tönender* (weniger deutlicher und präciser) stehender Schwingungen. Von dieser letztern Art seien die von Savart in grosser Zahl nachgewiesenen Übergänge einer Schwingungsart in die andere. Ganz Recht habe übrigens dieser darin, dass manche der von Chladni beobachteten Verzerrungen der Klangfiguren schon der Anfang zum Übergange einer Schwingungsart in eine andere seien, und dass bei diesen Verzerrungen selbst die Zahl der Schwingungen, während der Ton schwach werde und zu verschwinden anfange, ein wenig geändert werde ([67]).

2) *Resonanzfiguren.*

So oder *Klangfiguren resonirender Körper*, oder *der Resonanz* ([68]) nennt man diejenigen aus Knotenlinien gebildeten Figuren, welche auf Körpern entstehen, die nicht im Zustande des Selbsttönens, sondern des *Mittönens* (*Resonirens*) sich befinden, worein sie durch einen selbsttönenden Körper versetzt sind. Ihre charakteristischen Merkmale, wodurch sie sich von den obigen Klangfiguren so wie über-

---

67) S. *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 176 ff., wo man auf Taf. I. Fig. 2—16. die an und für sich allerdings sehr merkwürdigen Übergänge der Figuren abgebildet findet.

68) Jenes kürzern Ausdrucks bedienen sich *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 186., *Baumgartner* S. 266. und *Pellisov*: Berichtig. eines Fundamentalsatzes der Akust. S. 18.; diesen längern findet man in *H.* und *W. Weber*: Wellenl. S. 539. 542.

haupt das Mittönen vom Selbsttönen unterscheiden, sind nach H. und W. Weber [69] folgende:

a) Beim Selbsttönen tönt der ganze Körper. Die Zwischenräume zwischen den Knotenlinien der Klangfiguren sind aliquote Theile des Raumes von einem Rande des tönenden Körpers zum andern. Diese Linien müssen in dem Sinne immer symmetrisch liegen, als sie Abtheilungen von einer solchen Grösse begrenzen, dass diese Abtheilungen ihre Schwingungen in gleichen Zeiten vollenden müssen. — Hiervon unterscheidet sich das Mittönen und seine Knotenlinien dadurch, dass beim Mittönen möglich ist, dass nur ein Theil des Körpers mitklinge, ohne dass der andere es überhaupt oder in gleichem Grade thut, und dass bei den Knotenlinien des Mittönens jenes Verhältniss der Zwischenräume der Knotenlinien des Selbsttönens nicht Statt findet, so wie auch dass die aus jenen Knotenlinien gebildeten Resonanzfiguren zwar symmetrisch sein können (wenn der resonirende Körper sehr regelmässig ist), aber es nicht nothwendig zu sein brauchen.

b) Die selbsttönende Schwingung ist unabhängiger von der Erregung, z. B. von der Richtung des streichenden Violinbogens; denn ist einmal eine transversale [70] selbsttönende Schwingung hervorgebracht, so ändert eine Veränderung der Richtung des Bogens weder in der Schwingung, noch in ihrer Klangfigur etwas ab. Die mittönende Schwingung hingegen nebst ihren Resonanzfiguren steht in einer grossen Abhängigkeit von der ursprünglichen Erzitterung, z. B. von der Richtung, in welcher der erschütternde Körper bewegt wird [71].

---

69) Wellenl. S. 539. 541 f. und *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 294.
70) Ich bemerke hier beiläufig, dass bei den Klangfiguren stets Figuren *transversal schwingender* Körper gemeint sind.
71) *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 186. vgl. ebend. Bd. 14. (44.) S. 405 ff. — *Biot* II. S. 116. — *Marx* in *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 6. (66.) S. 116. Vgl. oben S. 253 f.

c) Veränderung der Zahl der Knotenlinien der Klangfiguren, z. B. auf einer Scheibe, ändert den Ton, der desto höher wird, je mehr Knotenlinien entstehen. Die Zahl der Knotenlinien auf einem mittönenden (resonirenden) Körper hat dagegen gar keinen Einfluss auf die Höhe des Tones, den der mittönende Körper hervorbringt.

Die Resonanzfiguren können demnach bisweilen ganz so wie die Klangfiguren gestaltet sein ([72]), sehr oft aber sind sie von ihnen verschieden ([73]). Diese Verschiedenheit, namentlich ihre mindere Regelmässigkeit hat wohl ihre letzte Ursache darin, dass der resonirende Körper durch den selbsttönenden in eine Schwingungsweise versetzt wird, die ihm meistens im freien Zustande ganz fremd ist, die er daher nur gezwungen annimmt, so dass gleichsam beide, die ihm eigenthümliche und die ihm aufgedrungene Schwingungsweise, mit einander kämpfen, wodurch die Knotenlinien, welche der letztern entsprechen würden, durch die erstere gestört werden ([74]).

3) *Tonlose Figuren.*

Diese werden von Schwingungen hervorgebracht, welche entweder wegen ihrer zu grossen Schnelligkeit oder wegen ihrer zu grossen Schwäche nicht auf unser Ohr wirken können ([75]). Sie können den Klang- und Resonanzfiguren sehr ähnlich sein; dessen ungeachtet müssen sie von beiden sorgfältig geschieden werden, um nicht durch ihre Einmischung die Bewegungsgesetze tönender und resonirender Körper zu verwirren. ([76]). — Um zu zeigen, in wie weit etwa dergleichen Figuren namentlich mit Klangfiguren übereinstimmen und worin sie sich von diesen unterscheiden können, führe ich hier beispielsweise die Beobachtungen

---

72) *W. Weber* a. a. O. Bd. 20. (50.) S. 186. 73) *Marx* a. a. O. Bd. 5. (65.) S. 134. Bd. 6. (66.) S. 115. 119. 74) *Baumgartner* S. 266. vgl. auch *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 298. 75) *H.* und *W. Weber*: Wellenl. S. 563. und *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 186. 76) *W. Weber* ebend. S. 185.

Savart's an über die tonlosen Figuren, die er auf mittelbar (durch eine vorgehaltene tönende Platte, oder Glocke, oder Orgelpfeife) erschütterten, gleichmässig gespannten *Membranen* hervorgebracht hat. Diese Figuren nebst den sie erzeugenden Schwingungen zeigen folgende Ähnlichkeit mit tönenden Platten:

1) Es bilden sich in mittelbar erschütterten Membranen schwingende Abtheilungen, die durch ruhende oder wenig bewegte Linien geschieden sind, wie bei tönenden Platten.

2) Diese ruhenden Linien können ähnliche Verzerrungen erleiden, wie Chladni bei tönenden Platten beobachtete.

Dagegen zeigen sich zugleich auch folgende Verschiedenheiten zwischen den Bewegungen mittelbar erschütterter Membranen und tönender Platten:

1) Bei mittelbar erschütterten Membranen sind die am Rande liegenden Abtheilungen eben so gross, als die Binnenabtheilungen, während bei tönenden Platten die am Rande liegenden Abtheilungen nicht einmal halb so gross sind als die innern.

2) Bei mittelbar erschütterten Membranen werden die verschiedenen Verzerrungen der ruhenden Linien durch verschiedene Breite der stossenden Wellen hervorgebracht (d. h. durch verschiedene hohe Töne der vor der Membran aufgestellten Orgelpfeife); dagegen wird, wenn bei tönenden Platten die ruhenden Linien sich etwas verzerren, die Breite der Wellen des von der Platte ausgehenden Wellenzugs gar nicht oder unmerklich geändert, was man aus der Höhe des Tones leicht erkennen kann ([77]).

77) S. *W. Weber* im angef. Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 179 f.

Abbildungen von Klangfiguren haben Chladni und Strehlke bekannt gemacht; Abbildungen sowohl von Resonanzfiguren als auch von tonlosen Figuren bieten besonders die von Savart gelieferten dar; denn da er meistens dieselben an mittelbar, d. h. durch selbsttönende, Körper, in Schwingung versetzten Körpern beobachtete, so sind sie meistens nicht sowohl Klangfiguren, als vielmehr entweder Resonanz- oder tonlose Figuren (78).

Anmerkung. Bemerkenswerth ist, dass sich auch in *tropfbaren Flüssigkeiten* sowohl eine Schwingung, wie sie tönenden Scheiben zukommt, welche Chladni'sche Klangfiguren bilden, als auch solche Wellen erregen lassen, welche durch ihre Durchkreuzung einen Zustand wie die Schallwellen in resonirenden Körpern hervorbringen, wie H. und W. Weber's Experimente gezeigt haben, s. Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 275. 294. Marx erwähnt in Schweigger-Seidel's N. Jahrb. Bd. 6. (66.) S. 123., dass man auch in tropfbaren Flüssigkeiten Figuren hervorrufen könne, wobei im Quecksilber zugleich ein eigenthümlich klapperndes Geräusch entstehe.

B. *Flächenförmige Anhäufungen.*

Diese bilden sich aus dem aufgestreuten feinen Pulver bald als runde Häufchen (79), auch als lineare concentrische Figuren (80), bald als linienartige Flächen, Segmente einer Scheibe, als Dreiecke oder in anderer ähnlicher Gestalt (81).

---

78) *Chladni's* Klangfiguren findet man in s. Akust. Tab. III—X. und in s. N. Beytr. Tab. I—IV.; die von *Strehlke* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 4. (80.) Tab. III. u. Bd. 18. (94.) Taf. II. — Von den durch *Savart* bekannt gemachten Figuren gehören zu den *Resonanzfiguren* die in den Annales de chimie et de physique par *Gay-Lussac* et *Arago*. Tome XXV. Planche I. Fig. 8—11. 19—22. 24—27. abgebildeten, wofür sie auch *H.* und *W. Weber* (Wellenl. S. 542.) erklären; *tonlose Figuren* dagegen sind (nach *W. Weber* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 184.) die von ihm abgebildeten Figuren, die er auf mittelbar erschütterten Membranen erzeugt hat, s. diese im angef. Jahrb. Bd. 20. (50.) Taf. I. Fig. 2—16.

79) *Faraday* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 218 f.

80) Ebend. S. 206. 219.

81) S. ebend. Taf. VI. Fig. 1—13.

§ 23.

Schwingungsarten der Membranen.

Was die Materie der Membranen betrifft, so eignen sich, ausser den praktisch gebrauchten Pauken- und Trommelfellen, insbesondere zu akustischen Versuchen feines Pergament, englisches Briefpapier und Velin- oder Zeichenpapier (1) (weil diese Arten riefenlos sind); vor allen andern aber aus Gummi elasticum oder Kautschuk nach der von Marx entdeckten Weise zubereitete Membranen. Den von ihm erfundenen einfachen und doch so vielartiger Tonerweckung fähigen Apparat, mittelst dessen er höchst merkwürdige Beobachtungen über die Schwingungen der Membranen gemacht, hat er *Äoline* genannt (2).

Die verschiedenen Hauptarten der Schwingungen der Membranen sind dieselben, wie die der Scheiben, und zerfallen, wie bei den flächenförmigen Körpern überhaupt (s. oben S. 232 f.), in die beiden Hauptclassen: *primäre* und *secundäre*.

1) *Primär schwingende Membranen.*

a) Ihre *Erregung.*

Man kann diese Schwingungen erregen 1) dadurch, dass man den Rahmen (3), worauf die Membran gespannt ist, mit dem Violinbogen streicht; 2) dadurch, dass man sie mit gewissen tönenden Körpern, wie schwingenden Stäben, Platten, Membranen, Glocken oder Orgelpfeifen, in unmittelbare

---

1) S. *Faraday* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 205. 208. 240. (Auch *gewöhnliche Leinwand* gebrauchte er bei seiner Aufsuchung der Vibrationscentra mit gutem Erfolg, s. a. a. O. S. 212.) — *Savart* und *W. Weber* in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 402. Bd. 20. (50.) S. 184.

2) S. *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 5. (65.) S. 148 ff. Bd. 6. (66.) S. 109 ff.

3) Hierunter verstehe ich nicht bloss einen gewöhnlichen Rahmen, sondern Alles, was den nämlichen Zweck der Aufspannung erfüllt. *Faraday* gebrauchte dazu einen Trichter, *Marx* einen Cylinder. *Savart* bedient sich zum Aufspannen streifenförmiger Membranen folgendes Apparates. Er befestigt den Streifen an seinen beiden Enden an kleinen Leistchen, die mit ihm rechte Winkel bilden, und deren untere Enden durch eine starke Holzleiste verbunden sind, s. d. Abbild. dess. in *Schweigger's* Jahrb, Bd. 14. (44.) Tab. II. Fig. 9., vgl. S. 402.

oder mittelbare Berührung bringt ([4]). Welche Unterart der primären Schwingungen, ob tangential longitudinale, oder tangential transversale, oder tangential schiefe, oder schiefe, oder normale Schwingungen in der Membran entstehen sollen, hängt von der Richtung des die Schwingung erregenden tönenden Körpers gegen die Membran und von der Richtung seiner eigenen Schwingungen ab. Wird von dem tönenden Körper die Membran (unmittelbar oder mittelst der zwischen beiden befindlichen Luftschicht) in der Richtung ihrer Längenaxe gestossen, so schwingt sie tangential longitudinal; wenn in der Richtung der Breitenaxe, tangential transversal; wenn in einer schiefen Richtung auf ihre Fläche, schief; wenn senkrecht auf ihre Fläche, normal ([5]), falls die Stösse der letzten Art nicht so heftig sind, dass dadurch eine secundäre, d. h. transversale Schwingung erzeugt wird ([6]).

Bei diesen verschiedenen Erregungsarten findet aber der für die Beurtheilung der Schwingungen sehr wichtige Unterschied Statt, dass meistens nur bei dem zuerst genannten Verfahren eine *selbsttönende* ([7]), bei den übrigen aber entweder eine *resonirende* oder eine *ganz tonlose* Schwingung entsteht. Eine resonirende Schwingung bewirkte z. B. Marx durch Berührung der Membran mit einem der schwingenden Zinken einer Stimmgabel; denn der Ton der letztern wurde dadurch bedeutend verstärkt ([8]). Alle Schwingun-

---

4) *Marx* im angef. N. Jahrb. Bd. 6. (66.) S. 115—19. (Von schwingenden Stäben fand derselbe nur Stimmgabeln und longitudinal schwingende einfache Stäbe zu jenem Zwecke geeignet). — *Savart* und *W. Weber* a. a. O. Bd. 20. (50.) S. 179. 184. s. auch *Biot* II. S. 65. 116 f.

5) Vgl. *Biot* II. S. 116.

6) *Marx* a. a. O. Bd. 6. (66.) S. 117.

7) Zwar ist auch diese Erregung der Schwingungen eine *mittelbare*; wenn sie indess hinlänglich stark ist, so wird sie statt des blossen Mittönens auch ein Selbsttönen der Membran hervorbringen können. *Savart* erwähnt bei dem Versuche, wo er auf diese Weise die Schwingung erregte, keinen Ton der Membran; indess darf man aus den Worten, dass die von ihm beobachtete Erscheinung sich nicht ändere, »die Zahl der Schwingungen in einer Secunde mag gross oder klein sein, selbst wenn sie kleiner ist, als dass ein Ton entstehen kann« (*Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 402.), schliessen, dass die Membran bei seinem Verfahren getönt habe.

8) *Marx* a. a. O. S. 116.

gen dagegen, welche Savart an mittelbar erschütterten Membranen hervorgebracht hat, sind durchaus tonlose (9). Daraus darf man indess nicht den Schluss ziehen, als ob jedes von dem Letztern angewandte Verfahren überhaupt nur tonlose zu erregen fähig wäre; sondern eine bedeutende Ursache, dass nur solche erfolgten, liegt wohl in der Beschaffenheit der von ihm angewandten Membranen. Sicherlich würden die Wirkungen anders gewesen sein, hätte er eine nach der Angabe von Marx zubereitete Membran von Kautschuk dazu gebraucht, da diese an Erregbarkeit alle übrigen bis jetzt geprüften übertrifft. — Eine auf Wasser schwimmende Membran wird auch durch einen im Wasser erregten Schall in eine (tonlose) schwingende Bewegung versetzt (10).

Anmerkung. Marx theilt in Schweigger-Seidel's N. Jahrb. Bd. 6. (66.) S. 119. unter andern folgende Beobachtung mit, die er bei seinen Versuchen, durch die tönende Luftsäule einer offenen Orgelpfeife eine darüber gehaltene Membran in Schwingung zu versetzen, gemacht hat: »Wenn ich eine offene Orgelpfeife, deren tönende Luftsäule 7 Zoll betrug, und welche $\overline{\overline{a}}$ angab, einer Membran näherte, so vertiefte sich ihr Ton um einen halben, einen ganzen Ton, bis zu einer kleinen Terz; aber zur untern Octave, die sogleich ansprach, wenn ich ihre Öffnung mit der Hand deckte, sank er nie, sondern sprang bei stärkerm Anblasen sogleich zur höhern Octave $\overline{\overline{\text{fis}}}$ über.« Diese Thatsache könnte vielleicht Jemanden zu der Meinung veranlassen, als ob durch die tönende Luftsäule in der Membran gleichfalls ein Selbsttönen erregt würde und der Ton der Luftsäule entweder in den von der Membran hervorgebrachten sich abänderte, oder dass beide zusammen ein Klangsystem bildeten, welches statt des Tones, den jeder Körper für sich allein gibt, einen zwischen den selbstständigen Tönen beider ungefähr in der Mitte liegenden hervorbrächte, mithin zu den § 26. anzuführenden Beispielen gehörten. Allein jener tiefere Ton wird von der Luftsäule allein hervorgebracht und seine Vertiefung

---

9) *W. Weber* a. a. O. Bd. 20. (50.) S. 184. vgl. S. 178 ff. 10) *Baumgartner* S. 265.

rührt lediglich daher, dass die über die obere Öffnung der Pfeife gehaltene Membran diese Öffnung auf eine ähnliche Art theilweise deckt, wie es bei offenen Pfeifen durch ein an die Öffnung in einer gegen die Axe der Pfeife geneigten Richtung angesetztes dünnes Blatt von Blei geschieht, s. Biot II. S. 99. und oben S. 118. Die Pfeife behält ungeachtet dieser theilweisen Deckung doch übrigens den Charakter einer offenen. Deshalb springt der durch die darüber gehaltene Membran um eine kleine Terz, aus $\overline{\overline{a}}$ in $\overline{\overline{fis}}$ erniedrigte Ton, wenn durch stärkeres Anblasen statt des Grundtones der erste Flageoletton erzeugt wird, in die Octave jenes tiefern Tones, $\overline{\overline{\overline{fis}}}$, über, weil bei offenen Pfeifen beide sich wie 1 : 2 verhalten. Diese Bemerkung möge man zugleich als einen Nachtrag zu § 18. ansehen.

b) Ihre *Schwingungsarten.*

Da über die Natur der Schwingungen eines Körpers nur die selbsttönenden sichern Aufschluss geben, so beschränken wir uns auf diese. Allein hierüber ist uns bis jetzt nichts weiter bekannt geworden, als eine Beobachtung Savart's und eine Berechnung Poisson's, die wir hier mittheilen.

α) Tangential longitudinale Schwingungen einer streifenförmigen Membran.

Wenn man nach Savart einen kleinen Papier- oder Pergamentstreifen von 11 bis 15 Zoll Länge mittelst des oben bezeichneten Apparats aufspannt und durch Streichen der einen Leiste mit dem Violinbogen in tangential longitudinale Schwingung versetzt, so entstehen in dem darauf gestreuten Sande Knotenlinien von grosser Nettigkeit, von welchen die der einen Fläche der Membran in der Mitte der Zwischenräume derer der andern liegen, so dünn auch die Membran sein mag. Die Erscheinungen ändern sich nicht, die Zahl der Schwingungen in einer Secunde mag gross oder klein sein, selbst wenn sie kleiner ist, als dass

ein Ton entstehen kann ([11]). Diese Verschiedenheit der Lage der Knotenlinien an der obern und untern Fläche ist allen ([12]) longitudinal schwingenden Körpern eigen, und rührt, wie man annimmt, von *normalen* Schwingungen her, welche gleichzeitig mit den longitudinalen Statt finden (s. oben S. 150 f.). — Eine dünne Membran kann auch, wenn sie nicht gespannt ist, tangential longitudinal schwingen ([13]). Dieses kann nicht befremden, da auf longitudinale Schwingungen überhaupt die Spannung ungleich geringern Einfluss hat, als auf transversale (s. S. 31 f.).

β) *Tangentiale Schwingungen einer kreisrunden Membran.*

Bei diesen Schwingungen ist, nach Poisson ([14]), der erste Ton, d. h. der Grundton einer solchen Membran, von keiner Knotenlinie begleitet, wenn man nicht die im befestigten Rande liegende mitrechnen will. Beim zweiten Tone, d. h. dem ersten Flageolettone, zu welchem sich jener Grundton wie 1 : 1,87 verhält, bildet sich eine Knotenlinie, die um 0,53 des Radius (wenn man diesen = 1 betrachtet), mithin etwas über die Hälfte desselben, vom Mittelpunkte entfernt liegt. Bezeichnet man die Flageolettöne, die auf diesen durch 2 bezeichneten ersten Flageoletton folgen, mit den folgenden Zahlen 3, 4, 5 u. s. w., so kann man als Regel aufstellen, dass bei jedem Tone die Zahl der Knotenlinien um 1 geringer ist, als die dem Tone, der eben angenommenen Bezeichnungsweise zufolge, entsprechende Zahl.

---

11) *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 402.

12) Man darf mit Recht sagen: »*allen*«, da auch selbst die longitudinal schwingenden Saiten keine Ausnahme hiervon machen, indem dieselben, *Savart's* Untersuchungen zufolge, bei dieser Schwingungsart eine schraubenförmige Knotenlinie zeigen, deren an der untern Fläche liegende Theile demnach eine von den an der obern Fläche liegenden verschiedene Lage haben, s. a. a. O. Bd. 14. (44.) S. 401 f. vgl. jedoch unten S. 287.

13) *Savart* ebend. S. 402.

14) In s. grössern Abh. Sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques in den Mém. de l'Acad. VIII. 357., s. *Fechner's* Repert. I. S. 281. 295 f.

2) *Secundär (d. h. transversal) schwingende Membranen.*

a) Ihre *Erregung.*

Hervorgebracht werden diese Schwingungen an einer aufgespannten Membran dadurch, dass man diese mit den Fingern ([15]) oder mit einem passenden Schlaginstrumente ([16]) erschüttert, oder einen Luftstrom aus einer etwas engen Röhre durch eine weitere Mündung so gegen dieselbe hervordringen lässt, dass die Membran seinen Ausgang weder ganz verschliessen, noch auch ungehindert durchlassen kann ([17]). Auch durch einen senkrecht auf die Membran gesetzten geraden Stab, den man der Länge nach mit einem befeuchteten Tuchläppchen reibt, und so Longitudinalschwingungen in ihm erregt, kann man jene Schwingungen erregen, wenn die ihr von dem Stabe ertheilten normalen Stösse hinlänglich stark sind, um eine mit Beugung verbundene Schwingung zu bewirken ([18]). Ein Gleiches gilt von den Stössen, welche die Membran empfängt, wenn man durch ein in ihrer Mitte gemachtes kleines Loch ein Pferdehaar zieht, das durch ein Knötchen am Ende darin festgehalten wird, und dasselbe mit dem mit Harz bestrichenen Daumen und Zeigefinger longitudinal streicht ([19]).

b) Ihre *Schwingungsarten.*

Von welcher Beschaffenheit die Schwingungen der Membranen sind, ist erst in neuester Zeit ermittelt oder vielmehr ihre wahrhafte Ermittelung begonnen worden; denn was Chladni in seiner Akustik ([20]) darüber sagt, sind blosse Vermuthungen. Die Richtigkeit der vor ihm vom Grafen Giordano Riccati ([21]) und L. Euler ([22]) bekannt ge-

---

15) *Faraday* a. a. O. Bd. 26. (102.) S. 205. Bekanntlich wird das Tambourin oder die Handtrommel mit der Hand geschlagen. 16) Hieher gehören die bekannten Weisen, Pauken und Trommeln in Schwingung zu versetzen. 17) *Marx* a. a. O. Bd. 5. (65.) S. 150 f. Bd. 6. (66.) S. 110 f. 18) *Marx* a. a. O. Bd. 6. (66.) S. 117. 19) *Faraday* a. a. O. Bd. 26. (102.) S. 202 ff. 20) S. 77—80. Aus dem hier Gesagten scheint das, was *Baumgartner* S. 257. anführt, entnommen zu sein. 21) In den Saggi scientifici e letterari dell' Academia di Padova, Tom. I. 1786. p. 419 sqq. Vgl.

machten Beobachtungen aber zieht er selbst wenigstens theilweise in Zweifel. Weit wichtiger sind die Untersuchungen Savart's ([23]). Aber auch von diesen geben wenigstens die, wo bei der mittelbaren Erschütterung nur tonlose Schwingungen entstanden, über die eigenthümlichen Schwingungsarten noch keinen Aufschluss, weil dazu nur selbsttönende Schwingungen sich eignen. Daher beginnt erst mit den merkwürdigen Untersuchungen von Marx ([24]) die Einsicht in den Schwingungscharakter der Membranen, weil er Membranen bei seinen Versuchen gebrauchte, die an Erregbarkeit alle übrigen bis jetzt angewandten übertreffen. Wie dieser durch seine Experimente, so hat andererseits Poisson durch seine Berechnungen die Sache bedeutend gefördert, indem er zuerst die Aufgabe gelöst hat, die Klangfiguren, welche sich auf biegsamen Membranen und starren Scheiben oder Platten bilden, durch Gleichungen auszudrücken und ihren Zusammenhang mit den dabei entstehenden Tönen anzugeben, und zwar hat er diess bisher in Bezug auf kreisrunde und rechteckige Membranen, und in Bezug auf kreisrunde, aber noch nicht in Bezug auf rechteckige Scheiben gelöst ([25]).

α) *Schwingungsarten viereckiger Membranen.*

Da die selbsttönende transversale Schwingung der Membranen grossentheils von der Gleichmässigkeit der Spannung abhängt, diese aber bei über einen viereckigen Rahmen ge-

---

über *Riccati's* und *Chladni's* Ansichten *Marx* a. a. O. Bd. 6. (66.) S. 121 f. 22) In Nov. commentat. Academ. Petropolit. Tom. X. 23) *W. Weber* in *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 20. (50.) S. 176 ff. vgl. Bd. 14. (44.) S. 402. 24) S. *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 5. (65.) S. 148 ff. Bd. 6. (66.) S. 109 ff., wo er sowohl die Art, wie er seine Membranen aus Kautschuk zubereitete und den Apparat, sie aufzuspannen und ihre Schwingungen zu erregen, als auch seine Beobachtungen über ihre Schwingungsarten mittheilt. 25) Diese Untersuchungen sind in seiner grössern Abhandlung: »Sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques« in den Mém. de l'Acad. VIII. 357 sqq. enthalten. (Diese Abhandl. ist die »grössere« genannt im Gegensatz der gleichen Titel führenden kleinern in den Annal. de chimie et de physique par *Gay-Lussac* et *Arago*, Tom. XXXVII. pag. 337 sqq., wovon man eine Übers. in *Poggendorff's* Annal. Bd. 13. (89.) S. 383 ff. findet).

spannten Membranen schwer zu erreichen ist, so vermochte Marx anfangs nicht, Töne und Figuren auf solchen Membranen hervorzubringen. Endlich aber gelang ihm Beides, als er hierzu eine überaus dünne und gleichförmige Membran anwandte, und sie, nach manchen vergeblichen Versuchen, ziemlich gleich gespannt über den Rahmen brachte. Sie zeigte der Hauptsache nach ganz dieselben Phänomene, wie die über Cylinder gespannten Membranen (s. über diese weiter unten), nur mit dem Unterschiede, dass, wegen der nicht zu vermeidenden straffern Anziehung an den Ecken, die Kreise mehr gestreckten Ellipsen ähnlich und die Figuren überhaupt mehr gezerrt erschienen. Er folgert hieraus, dass für das Wesen der Erschütterung die angrenzenden Seitenwände wenig beitragen, sondern Alles von dem ursprünglich erschütterten Punkte und seiner Umgebung ausgehe, während bei starren Scheiben die innern Knotenlinien sich ganz nach der äussern Begrenzung richten ([27]).

Poisson theilt die rechteckigen Membranen, über welche er seine Untersuchungen mittheilt, in die 2 Classen:

1) solche, deren Seiten kein gemeinschaftliches Maass haben, oder, mit andern Worten, incommensurabel sind,
2) solche, deren Seiten ein gemeinschaftliches Maass haben, oder commensurabel sind, wohin quadratische Membranen, ferner solche, deren Seiten sich wie 1 : 2, wie 2 : 3 u. s. f. verhalten, gehören.

Der Grund, wodurch er zu dieser Eintheilung bestimmt wurde, liegt in folgender Verschiedenheit jener beiden Classen;

1) Sind die Seiten einer rechteckigen Membran streng incommensurabel, so entspricht ihrem Grundtone gar keine Knotenlinie (ausser im befestigten Rande, welche nicht mitgezählt werden), *jedem höhern Tone,*

26) A. a. O. Bd. 5. (65.) S. 153. 27) Ebend. Bd. 6. (66.) S. 122.

den sie gibt, aber *nur ein einziges System von Knotenlinien.* Diese Linien sind den Seiten respectiv parallel, und so angeordnet, dass die Membran dadurch in lauter unter einander gleiche Rechtecke getheilt wird. Die Membran kann nun so schwingen, dass alle Knotenlinien bloss der einen Seite, oder dass sie bloss der andern Seite parallel laufen, oder dass sich kreuzende Knotenlinien respectiv beiden Seiten parallel laufen, und zwar ist die Membran aller denkbaren Combinationen in diesem Bezuge fähig, so dass z. B. der einen Seite (je nach dem Tone, den sie gibt) 1, 2, 3, 4, oder überhaupt eine beliebige Anzahl Knotenlinien (in gleichen Abständen von einander) parallel laufen können, während der andern Seite gar keine parallel läuft, oder es kann auch der einen Seite eine beliebige Anzahl Knotenlinien parallel laufen, während der andern ebenfalls eine beliebige Anzahl Knotenlinien parallel läuft, wobei immer entsprechende abgeänderte Töne entstehen. Man kann daher die Töne solcher Membranen, wie Chladni bei den Scheiben gethan (s. § 24.), nach der Anzahl der Knotenlinien, die der einen und der andern Seite parallel gehen, ordnen und bezeichnen, so dass z. B. 2 | 1, 4 | 3 Töne und Schwingungsarten bedeuten, bei denen respectiv 2 oder 4 Linien der kürzern, 1 oder 3 Linien der längern Seite parallel laufen. Eine gleiche Anzahl von Knotenlinien, welche der längern Seite parallel läuft, entspricht einem höhern Tone als eine solche, welche der kürzern parallel läuft.

2) Sind die Seiten einer rechteckigen Membran commensurabel, so können *jedem Tone*, je nach der Erschütterungsart, in welche die Membran versetzt worden ist, *unendlich viele verschiedene Arten von Knotenlinien* entsprechen. Dem Grundtone einer quadratischen Membran entspricht keine Knotenlinie innerhalb der

Membran, sondern sie liegen bloss in den Rändern selbst. Beim folgenden ersten Flageolettone quadratischer Membranen bildet sich Eine Knotenlinie, die je nach der verschiedenen Erschütterungsart als Diagonale, oder als eine das Quadrat in 2 gleiche Rechtecke zertheilende Linie, oder als Curve erscheint. Beim zweiten Flageolettone entsteht, je nach der jedesmaligen Erschütterungsart, entweder ein diagonales Kreuz, oder 2 parallele Linien, wodurch die Membran in 3 gleiche Rechtecke getheilt wird, oder 2 Curven sehr verschiedener Art, die entweder von einander getrennt oder geschlossen sind. — Im Allgemeinen besteht jedes dieser Systeme von Knotenlinien aus einer gewissen Anzahl gerader Knotenlinien, die den Rändern parallel gehen, und krummer Linien, welche sich in gewissen Theilen ihrer Länge Ellipsen, oder Hyperbeln, oder Zusammenfügungen solcher Linien ausnehmend nähern können, ohne jedoch wahrhaft solche zu sein ([28]).

β) *Schwingungsarten kreisrunder Membranen.*

Hierüber hat Marx mannichfache Beobachtungen gemacht; doch ist es ihm zur Zeit noch nicht gelungen, die den einzelnen Schwingungsarten und Tönen entsprechenden Knotenlinien, ähnlich wie Chladni es bei Scheiben gethan, anzugeben und nach ihren Linien zu ordnen. Bei den tiefsten Tönen zeigt sich immer nur eine Knotenlinie, die, wenn die Luftröhre, aus welcher der die Schwingungen erregende Luftstrom hervordringt, gerade über der Mitte der Membran steht, dieselbe genau in 2 gleiche Theile, die nach verschiedenen Richtungen schwingen, abtheilt ([29]). Zuweilen ist die Linie sichelförmig gekrümmt.

---

28) *Fechner*: Repert. I. S. 298 ff. und Taf. III. Fig. 40—48.

29) *Marx* a. a. O. Bd. 6. (66.) S. 113. Diese Schwingungsweise hat bereits *Chladni*, jedoch nur vermuthungsweise, als die dem ersten Flageolettone eines Paukenfelles zukommende S. 79. aufgestellt und Tab. I. Fig. 10. abgebildet.

Bei höhern Tönen, die von einer Terz bis zu einer Quinte gehen mögen, kommen 2 Durchmesser, die sich rechtwinkelig durchschneiden, zum Vorschein. Meist sind diese so gekrümmt, dass sie, wie die beiden Hälften einer Hyperbel, von einander abstehen. Aber von hier an hört, nach Marx, alle Regelmässigkeit auf. Er beobachtete wohl einmal 3 fast parallel mit einander laufende Linien, einen Durchmesser nebst 2 Sehnen, die zur Octave des tiefsten Tones gehörten; aber bei der Wiederholung hatten sie sich so gekrümmt, dass gar nicht mehr entschieden werden konnte, wie viele Linien eigentlich vorhanden wären. Noch grösser wird diese Unentschiedenheit bei höhern Tönen, wo die Linien und mit ihnen die Krümmungen sich häufen. So viel scheint indess aus den von Marx mitgetheilten Beobachtungen hervorzugehen, dass die Grundform der meisten Knotenlinien die Kreisform ist, welche sich in die mannichfachsten Curven verzerrt. Am reinsten und vollkommensten bilden sich die Kreise, wenn die Schwingungen durch einen longitudinal schwingenden geraden Stab, womit man in senkrechter Richtung die Membran in der Mitte berührt, hervorgebracht werden. Die Zahl der dann erscheinenden Ringe hängt von der Grösse der Fläche und von der Höhe des Tones des Stabes ab. Daher ist sie bei gleichem Tone auf einer kleinern Membran anders, als auf einer grössern. Vergleicht man aber in einem solchen Falle beide kreisförmige Figuren mit einander, so ergibt sich, dass bei beiden die gegenseitige Entfernung der Kreise bei einerlei Tone die nämliche ist, dass also die Zahl der auf irgend einer Membran bei demselben Tone sich bildenden Kreise davon abhängt, wie viele Mal die diesem Tone zukommende Grösse des Zwischenraumes zweier Kreise in dem Radius jener Membranen enthalten ist. Eben so ändert sich die Zahl der Kreise, wenn die Höhe des Tones sich ändert, während die Grösse der Fläche dieselbe bleibt. So bilden sich z. B. auf derselben Membran doppelt so

viele Kreise, als zuvor, wenn der Ton um eine Octave höher wird ([30]). Diese Erscheinung beruht auf der allgemeinen § 29. zu erwähnenden Regel, dass, bei übrigens gleichen Umständen, die Töne sich umgekehrt verhalten, wie die Längen der schwingenden Theile. Die Zwischenräume der Kreise sind hier die schwingenden Theile. Betrachtet man nun den gegenseitigen Abstand zweier Kreise als ihr Längenmaass, so leuchtet ein, dass bei gleichem Tone dieser Abstand der nämliche; bei dem um eine Octave erhöhten Tone aber, da sich der letztere zu dem tiefern wie 2 : 1 verhält, der Abstand je zweier Kreise nur die Hälfte sein kann (wie 1 : 2). — Die vielfache und unglaublich schnell erscheinende Veränderung der Figur, auch bei gleichbleibendem Tone, ist aus unregelmässigem Hervordringen des die Schwingung erregenden Luftstroms, aus veränderter Richtung desselben gegen die Membran, aus Veränderung der Stelle, wo er sie erschüttert, auch wohl aus der ungleichen Dicke oder Spannung mancher Stelle der Membran zu erklären.

Poisson erwähnt nur um den Mittelpunkt concentrische Kreise als Klangfiguren einer transversal schwingenden kreisrunden Membran. Bei ihrem Grundtone entsteht, ihm zufolge, innerhalb der Membran gar kein Kreis; bei dem folgenden ersten Flageolettone bildet sich ein Kreis, der um 0,4347 des Radius der Membran von deren Mittelpunkte entfernt liegt. Bezeichnet man den Grundton durch 1, den ersten Flageoletton durch 2, und so die folgenden höhern Töne durch 3, 4, 5 u. s. f., so ist die Zahl der bei jedem einzelnen Tone innerhalb der Membran sich bildenden Kreise um 1 geringer, als die dem Tone entsprechende Zahl ([31]).

Sehr merkwürdig ist, was Marx über die von ihm an solchen Membranen hervorgebrachten *Töne* erwähnt:

---

30) *Marx* ebend. S. 117 f. 31) *Fechner* a. a. O. S. 206.

1) die *grosse Zahl der Töne*, welche eine einzige Membran hervorzubringen im Stande ist. Der Umfang der Töne bei einer und derselben Membran beträgt 2 bis 4 Octaven, obgleich sie bei gewissen Tönen am leichtesten anspricht. Diese Mannichfaltigkeit rührt grossentheils von der Mannichfaltigkeit der dabei zusammenwirkenden veränderbaren Umstände her; denn die Tonhöhe wird, nächst der unveränderlichen Qualität und Quantität der Membran (grössere und dickere geben tiefere Töne als kleinere und dünnere), durch folgende Umstände bedingt:

a) durch den *Grad der Spannung*. Vergrösserung derselben erhöht den Ton, Verminderung macht ihn tiefer;

b) durch die *Stärke des Luftstromes*, der die Schwingungen erregt ([32]). Bei schwachem Strome entstehen gewöhnlich tiefere, bei ganz schwachem eigentliche Contratöne, bei stärkerem gern höhere, oft schneidend hohe Töne.

c) durch die *Stelle der ersten Erschütterung* der Membran durch den gegen sie strömenden Wind. Denn weil dieser nicht die ganze Membran gleichzeitig in Schwingung versetzt, sondern zunächst nur den Theil, gegen welchen er unmittelbar stösst, so entsteht zuerst eine fortschreitende und aus dieser dann eine stehende Schwingung ([33]), wie sie zum Selbsttönen

---

32) Die Stärke der Einwirkung des Luftstromes kann *Marx* bei seinem Apparate auf dreierlei Weise verändern: a) dadurch, dass er die Stärke des Luftstromes selbst unmittelbar verändert durch verschiedenes Treten des Blasebalgs oder mittelst eines zur Regulirung des Windes, zwischen der Düse des Blasetisches und dem Mundstücke des Windrohrs angebrachten Hahnes; b) dadurch, dass er denselben entweder von unten herauf an die Membran strömen lässt, oder mittelst einer auf den Hahn geschobenen, zweimal rechtwinkelig gebogenen Röhre von oben herab auf dieselbe wirken lässt. Durch diese Biegung wird der Luftstrom geschwächt; c) dadurch, dass er mittelst einer Vorrichtung das Mundstück der Windröhre mehr oder weniger an die Membran andrückt. S. a. a. O. Bd. 6. (66.) S. 10 f.

33) *Marx* a. a. O. S. 120.

der Membran erfordert wird (s. S. 23 f.), so verändern sich mit der Stelle der ursprünglichen Erschütterung auch zugleich die von da fortschreitenden Wellen und eben deshalb auch die Beschaffenheit der stehenden Schwingung, welche daraus entspringt.

Noch merkwürdiger als die grosse Zahl der Töne überhaupt, obschon aus dem bereits Angegebenen erklärbar, ist

2) die *Reihenfolge der Töne*, welche man auf einer Membran hervorbringen kann. Während nämlich bei jedem andern tönenden Körper, wenn man nicht seine Länge ändert (wie bei den Saiten der Geigeninstrumente aller Art durch verschiedenes Greifen, bei den Blasinstrumenten mit Tonlöchern durch Offenlassen oder Verschliessen derselben geschieht), eine bestimmte Tonreihe Statt findet, die er nach seiner verschiedenen Eintheilung zu geben vermag, wovon aber wenigstens die tiefsten Töne weit aus einander liegen (s. die § 17. 18. 20. 21. aufgestellten Tonreihen), tritt uns hier die bisher kaum geahnete, ja für unmöglich gehaltene Erscheinung entgegen, dass eine einzige Membran für beinahe alle mögliche Töne ausreicht, indem man bei den tiefern wie bei den höhern Tönen ganz enge Fortschreitungen, die ganz regellos zu sein scheinen, erhält. Marx besitzt eine Membran, die von einer gewissen Stelle aus unter der Windröhre fortgeschoben, eine reine chromatische Fortschreitung von halben Tönen darbietet. Deshalb ist auch die Zahl ihrer Figuren unendlich.

Sehr beachtungswerth ist ferner

3) die *Coëxistenz mehrerer Töne.* Diese findet zwar auch bei allen übrigen tönenden Körpern Statt, erscheint aber hier auf eine eigenthümliche Weise. Bei Saiten klingt mit dem Grundtone dessen nächst höhere Octave,

deren Quinte, die zweite höhere Octave, deren grosse Terz u. s. w. mit (s. S. 25.); also Töne, die zwar von dem Tone, mit welchem sie zugleich erklingen, sämmtlich mehr oder weniger entfernt liegen, aber (wenigstens die so eben ausdrücklich genannten) unter sich und mit jenem harmonisch sind; bei andern Körpern bilden die mitklingenden Töne nur ein unharmonisches Gemisch (s. S. 27.). Bei den von Marx angewandten Membranen ertönen nicht nur zuweilen mehrere consonirende Intervalle, ja ganze Accorde zugleich, sondern diese mitklingenden Töne können auch innerhalb derselben Octave liegen, es kann z. B. mit einem Tone zugleich seine grosse Terz ertönen.

4) In Betreff der *Qualität* und *Quantität der Töne* dieser Membranen muss noch erwähnt werden, dass dieselben voll und kräftig, rein und deutlich, und denen der Blasinstrumente mit Zungen ähnlich sind, und dass jeder Ton, wenn er einmal rein anspricht, auch wenn man den Blasebalg nicht mehr tritt, noch mehrere Minuten sanft forttönt. Die kurz zuvor erwähnten zugleich erklingenden Töne sind weit zarter als die der Äolsharfe, auch ohne das dynamische Wogen dieser letztern, sondern stetig ([34]).

Schliesslich ist jetzt noch an den *praktischen Gebrauch* zu erinnern, den man von den Membranen bisher gemacht hat. Als eigentlich musikalisches Instrument kann indess nur die *Pauke* ([35]) betrachtet werden, bei der man aber

---

34) So nach den Versuchen *Schnyder's von Wartensee*, s. *Marx* a. a. O. S. 124.
35) In Betreff der Stimmung der Pauken durch Spannung ihres Felles ist sehr beachtungswerth die von Cornelius *Ward* erfundene Verbesserung, nach welcher dieselbe durch eine an dem Paukenkessel angebrachte hinreichende Anzahl von Hebeln geschieht, welche mit dem Ringe, über den das Fell gespannt ist, in Verbindung stehen. Diese Hebel zerfallen in 2 Classen, indem die einen nach rechts und die andern nach links gebogen sind. Die untern Enden dieser beiden Hebelclassen sind an einem beweglichen horizontalen metallenen Bande oder Stabe befestigt, und diese beiden Bänder sind an ihren beweglichen, über einander wegführenden Enden mit Verzahnungen, deren Zähne an dem

nur ihren tiefsten Ton gebraucht. Das *Tambourin* und die *Trommel* sind blosse Schlaginstrumente. In hohem Grade würde sich die obige von Marx erfundene *Äoline* zu musikalischen Zwecken eignen, wenn es Jemanden gelänge, jeden bestimmten Ton beliebig zu jeder Zeit hervorzurufen.

Die successiven Töne einer transversal schwingenden *quadratischen* Membran verhalten sich, nach Poisson, wie die Quadratwurzeln folgender Zahlen:

2, 5, 8, 10, 13, 17, 18, 20, 25, 26, 29, 32 ....

Die successiven Töne einer so schwingenden länglich *rechteckigen* Membran, die noch einmal so lang als breit ist, verhalten sich wie die Quadratwurzeln folgender Zahlen:

5, 8, 9, 12, 13, 17, 20, 24, 29, 33, 37, 40, 44, 45 ....

Der Grundton einer *kreisrunden* Membran verhält sich zum Grundtone einer *quadratischen* Membran bei gleichem Gewichte derselben wie 0,9593 : 1, wonach der erstere Ton ungefähr um $\frac{1}{25}$ tiefer als der letztere ist ([36]).

Anmerkung. Biot (II. S. 65.) behauptet, dass bei den Tönen, die sich durch ausdehnsame, flächenförmig ausgespannte Membranen hervorbringen lassen, die Elasticität auf die Fasern der Membran durch die Ausdehnsamkeit, nicht durch die Spannung derselben wirke, d. h. sie wirke nach der Richtung der Fläche, um sie zusammenzuziehen oder auszudehnen, nicht nach der Richtung ihrer Krümmung, um sie gerade zu machen

---

einen nach abwärts und an dem andern nach aufwärts gerichtet sind, versehen. Wenn daher zwischen diesen beiden Verzahnungen ein in beide eingreifendes Getriebe angebracht ist, so wird durch Umdrehen dieses Getriebes eine entsprechende Bewegung der Hebel, und mithin eine grössere Spannung oder ein Nachlass des Paukenfelles erfolgen, jenachdem das Getriebe nach der einen oder nach der andern Richtung umgedreht wird. Die genauere Beschreibung und Abbildung dieses Apparates findet man in den Transactions of the Society of arts Vol. LI. P. I. p. 37. und daraus entnommen in *Dingler's* polytechnischem Journal Jahrg. 1837. Neue Folge Bd. 15. (65.) Heft 6. S. 425 ff. u. Tab. VI. Fig. 16—22. Diese Methode des Stimmens ist der mittelst der bisher gebräuchlichen Stimmschrauben weit vorzuziehen, weil so weit sicherer und schneller und geräuschlos jede beliebige *höhere oder niedrigere gleichmässige Spannung* erreicht wird. Bei dem schon seit längerer Zeit bei der italienischen Oper in London und auch in andern Theatern eingeführten Gebrauche dieser neuen Pauken hat sich bewährt, dass sie höher gestimmt werden können, und dass sie sowohl feinere als tiefere Töne geben, als die ältern Pauken.

36) S. *Fechner*: Repert. I. S. 281.

oder zu beugen. Er schreibt folglich den Membranen nur *tangentiale* Schwingungen hier zu. Allein schon S. 116. widerspricht er sich, indem er bei Anführung der Versuche Savart's, Membranen mittelbar (durch vorgehaltene tönende Körper) in Schwingung zu setzen, ausser ihren tangentialen Schwingungen, und zwar mit Recht, auch *normale* nennt, in welche sie z. B. durch eine parallel darüber gehaltene transversal schwingende Scheibe versetzt werden. — Zu jener Behauptung wurde er wohl durch Savart's Versuche veranlasst, bei welchen, wenigstens bei sämmtlichen von ihm genannten, stets primäre, also mit Verdünnung und Verdichtung verbundene Schwingungen sich bildeten, die allerdings, mit Ausnahme jener normalen, alle tangential sind. Jetzt, wo uns die trefflichen Versuche von Marx vorliegen, wird Niemand mehr die *transversalen* Schwingungen der Membranen in Zweifel ziehen und Bedenken tragen, die Töne derselben auch der Spannung zuzuschreiben, ohne jedoch, auch bei den Transversaltönen, die Wirkung der Ausdehnsamkeit auszuschliessen. Denn bei jeder Beugung findet, wie ich bereits S. 77 f. als meine Überzeugung ausgesprochen habe, zugleich Verdichtung oder Zusammenziehung der Theilchen der concaven Seite, und Verdünnung oder Ausdehnung der Theilchen der convexen Seite des gebogenen Körpers oder Körpertheiles Statt, wenn sie auch bei sehr schwacher Beugung ganz unmerklich ist und unbeachtet bleiben kann. Deshalb gestehe ich offen, bis jetzt noch nicht begriffen zu haben, wie es secundäre, d. h. transversale (mit Beugung verbundene) Schwingungen auch ohne Verdichtung und Verdünnung geben könne, wie H. und W. Weber annehmen s. S. 33. und in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 276. 281. Über die an der concaven Seite Statt findende Contraction und über die Dilatation auf der gegenüberliegenden Seite vgl. auch Poisson in Poggendorff's Annal. Bd. 13. (89.) S. 387. vgl. auch ebend. Bd. 14. (90.) S. 174 f.

§ 24.

Schwingungsarten starrer Flächen.

So werden die hier nach ihren Schwingungen zu betrachtenden Flächen genannt, um sie von andern flächenförmigen Körpern, namentlich den Membranen, zu unter-

scheiden. Sie zerfallen von Seiten ihrer Richtung in die 2 Hauptclassen: *gerade* und *krumme*.

A. *Schwingungsarten gerader Flächen.*

Diese sind aller der verschiedenen Schwingungen fähig, die § 22. S. 232 f. angegeben wurden.

1) *Primäre Schwingungsarten.*

Die Erregung derselben kann auf zweierlei Weise geschehen;

a) *unmittelbar*: durch Stossen, Streichen oder Reiben der Fläche nach derjenigen Richtung, die der zu erregenden Schwingungsart entspricht ([1]);

b) *mittelbar*: durch Berührung der Fläche mit einem tönenden Körper. Die Richtung, in welcher diese Berührung bei den einzelnen Schwingungsarten geschehen muss, beruht auf dem durch Savart dargelegten Gesetze, dass sich alle Theilchen eines Körpers, der mit einem tönenden Körper in Verbindung gesetzt ist, mit den Theilchen des letztern parallel bewegen ([2]). Welches Verfahren hiernach für die mittelbare Erregung jeder einzelnen Schwingungsart sich eigne, werde ich bei jeder im Folgenden angeben.

a) *Tangential longitudinale Schwingungsart.*

aa) Ihre *Erregung.*

Die *mittelbare Erregung* derselben geschicht, wenn wir beispielsweise eine tönende Saite als Mittel der Schwingungserregung annehmen ([3]), auf folgende Art:

---

1) Hieher gehört das Verfahren *Savart's*, durch Schlagen mit einem kleinen Hammer gegen das eine Ende des Körpers ihn in Longitudinalschwingung zu versetzen, s. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 397.; ferner das a. a. O. S. 419 f. erwähnte Verfahren, in einer Platte durch Streichen mit dem Violinbogen tangential transversale Schwingungen zu erzeugen. 2) S. *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 404 ff. 3) Wie eine schwingende Stimmgabel dieses bewirke, ist § 21. S. 213 f. erwähnt.

α) eine *longitudinal* schwingende Saite erregt diese, wenn sie mit der in Schwingung zu setzenden Platte, die wir als rechteckig oder als kreisrund hier annehmen, so verbunden ist, dass sie mit der Fläche derselben in einerlei Ebene liegt und mit deren Längenaxe oder Durchmesser Eine fortlaufende gerade Linie bildet ([4]);

β) eine *transversal* schwingende Saite bewirkt jene Schwingungen:

αα) wenn sie die Platte in einer *auf deren Längenkanten senkrechten Richtung* berührt (indem z. B. die Platte rechtwinkelig quer über die horizontale Saite gelegt und auf derselben in horizontaler Richtung erhalten wird), und zugleich die Schwingungsebene der Saite *parallel mit der Fläche der Platte* ist, was stets der Fall ist, wenn der die Saite streichende Bogen mit dieser Fläche parallel bewegt wird ([5]);

ββ) wenn sie die Platte in einer *auf deren Oberfläche senkrechten Richtung* berührt, und ihre transversalen Beugungen *in der Richtung der Längenaxe* oder des Durchmessers der Platte geschehen, oder, mit andern Worten, wenn die Schwingungsebene ([6]) der Saite in dieser Richtung liegt, welches immer der

---

4) Hieher gehört von den verschiedenen Apparaten *Savart's*, die in den Annales de chimie et de physique, par *Gay-Lussac* et *Arago*. Tom. XXV. Planche I. abgebildet sind, Fig. 23. 32. 36. 39. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 21. 27. 30. — *Biot* II. Taf. VI. Fig. 55.). 5) Den zu diesem Verfahren passenden Apparat s. in den Annales a. a. O. Pl. I. Fig. 28. Man vgl. auch *Savart's* Versuche, wobei er Schwingungen in einer Platte dadurch erregte, dass er dieselbe quer über ein transversal schwingendes Trinkglas legte, in den Annales a. a. O. p. 172 f. und Pl. II. Fig. 75. 76. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 420 f. und Tab. III. Fig. 36. 37.) 6) Unter dem Ausdrucke *Schwingungsebene*, *plan des oscillations*, versteht man den Raum, welchen der transversal schwingende Körper von der Stelle an, die er im ruhigen Zustande einnimmt, bis zu dem Punkte seiner grössten Ausbeugung auf der einen Seite, und von diesem zurück durch jene von ihm früher eingenommene Stelle hindurch nach dem Punkte der grössten Ausbeugung auf der entgegengesetzten Seite und von da wieder zurück durchläuft. 7) Hieher gehören von jenen Apparaten in den Annales a. a. O. Pl. I. Fig. 1. 3. 5. 7. 12. 17. (14. 18.) Pl. II. Fig. 42. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 14—16. — *Biot* II. Taf. VI. Fig. 56.).

Fall ist, wenn der die Saite streichende Bogen genau diese Richtung hat (7).

bb) Ihre *Schwingungen.*

Bei allen so schwingenden Körpern findet man, wie bereits § 20. S. 148. bei den Stäben, und § 23. S. 271. bei den Membranen (8) erwähnt worden, dass die Knotenlinien der untern Fläche eine andere Lage haben, als die der obern, und zwar meistens so, dass jede Knotenlinie der untern Fläche der Mitte des Zwischenraumes zwischen je 2 Knotenlinien der obern Fläche entspricht. Beachtet man dabei zugleich die auf den schmalen Seitenflächen zwischen den Längenkanten sich bildenden Knotenlinien, so nimmt man, wenigstens bei gewissen rechteckigen Platten, wahr, dass durch diese jene Linien der obern und untern Fläche mit einander verbunden werden, so dass auch wie bei longitudinal schwingenden Saiten und Stäben, so auch bei so schwingenden Platten eine spiralförmige Linie um die Seiten herum läuft, wie Savart entdeckt hat (9).

Anmerkung. Savart stellt als durchgängige Regel auf, dass bei dieser Schwingungsart die Knotenlinien der einen Fläche in ihrer Lage *nie* den Knotenlinien irgend einer andern Fläche desselben Körpers entsprechen. W. Weber versichert indess, bei seinen Versuchen gefunden zu haben, dass bei einigen Glasstreifen die Knotenlinien auf den beiden Oberflächen einander gegenüber lagen, während sie bei andern, Savart's Regel gemäss, auf den beiden Flächen abwechselnd lagen. Diese letztere Lage der Knotenlinien bezeichnet W. Weber durch die Worte: »es liegt einer *sammelnden Linie* der einen Fläche eine *zerstreuende Linie* auf der entgegengesetzten Fläche gegenüber. S. Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 306.

---

8) Dass bei rechteckigen Membranen die Schwingungen der beiden Flächen einander entgegengesetzt sind, ist § 23. S. 271. aus *Savart's* Versuchen erwähnt. Dass ein Gleiches bei kreisrunden Statt finde, sagt derselbe in den Annal. a. a. O. S. 29 f, womit Pl. I. Fig. 19. zu vergleichen ist. Diese Abbildung zeigt auf der obern Fläche einen etwas verzerrten Kreis, auf der untern eine gerade diametrale Linie.

9) *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 407 f. vgl. S. 398. — *Biot* II. S. 58. vgl. Annales de chim. et de phys. a. a. O. p. 30. 35. 141. und Pl. I. Fig. 29. Nr. I.

α) *Rechteckige Platten.*

Wie bei den longitudinal schwingenden Stäben die verschiedene *Haltung* beachtet werden muss, weil sie Einfluss auf die Schwingungen hat, so ist es auch hier. Wir müssen hier gleichfalls Freiheit der Enden, Anstemmung und Befestigung als verschiedene Haltungsweisen unterscheiden. Wie sich dieselben aber bei Platten dieser Form von einander unterscheiden, darüber findet man bei Savart keine besondere Angabe (10). Die Knotenlinien, welche bei diesen Schwingungen auf rechteckigen Platten erscheinen, sind wohl meistens gerade Linien. Diese liegen dann senkrecht auf die Längenkanten, die Längenaxe rechtwinkelig durchschneidend. Es können aber auch krumme Linien sein, z. B. solche, welche in der Biegung einem horizontal umgelegten S ähnlich, aber darin von ihm verschieden sind, dass ihre Mitte sehr dünn, dagegen ihre Enden sehr dick sind. Je 2 solcher Linien können so neben einander liegen und sich berühren, dass da, wo die eine endet, die andere beginnt. Die entgegengesetzte untere Fläche zeigt im letztern Falle dieselben Linien, aber in entgegengesetzter Lage (11).

β) *Kreisrunde Platten.*

Wir unterscheiden hier zunächst die verschiedenen *Haltungsweisen*: freie Haltung, Anstemmung und Befestigung, können aber von den hier möglichen Fällen (s. die Ein-

---

10) In den Annal. a. a. O. p. 19. erwähnt er jene 3 Haltungsweisen ohne weitere Bemerkung über den Einfluss jeder derselben. Seine Apparate zeigen übrigens, dass er sowohl mit einer frei gehaltenen, als mit einer an beiden Enden befestigten Versuche gemacht habe, s. Pl. I. Fig. 3. 5. 12. Welche Erscheinungen sich bei an einem Ende angestemmten Platten dieser Form zeigen würden, könnte man daraus folgern, dass er bei seinen Versuchen mit angestemmten kreisrunden Platten bemerkt, dass die Erscheinungen dieselben seien, wenn man statt der Kreisscheibe Platten von ganz anderer Gestalt, rechtwinkelige, dreiseitige u. s. w. nehme. S. *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 408.
11) Beispiele gerader Knotenlinien bei diesen Schwingungen zeigen die Abbildungen in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 3. 6. (L 3.); krumme Linien von der angegebenen Art s. ebend. Pl. III. Fig. 91. vgl. p. 245. 260 sq. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 12. vgl. ebend. S. 401.).

theilung bei den Stäben S. 158 f.) nur folgende genauer betrachten.

αα) Der Rand ist *frei* ([12]). Der Grundton der Platte ist, nach Poisson ([13]), bei dieser Haltung der Platte von keiner Knotenlinie begleitet. Beim nächst folgenden ersten Flageolettone entsteht eine kreisförmige Knotenlinie. Diese liegt in einer Entfernung vom Mittelpunkte, welche 0,71 des Radius der Platte, mithin etwas weniger als drei Viertel seiner Länge beträgt. Jener Grundton verhält sich zu diesem zweiten Tone wie 1 : 4,05. Bezeichnet man den ersten Flageoletton mit 2, die demnächst auf einander folgenden Flageolettöne mit den Zahlen 3, 4, 5 u. s. w., so gilt als Regel, dass die Zahl der concentrischen Kreise ([14]), welche bei einem der Flageolettöne entstehen, stets um 1 kleiner ist als die dem Tone entsprechende Zahl.

ββ) Die Platte ist an dem einen Punkte ihres Randes an einen festen Körper *angestemmt*, während sie am diametral entgegengesetzten Punkte von der Saite berührt wird ([15]). Bei dieser Haltungsweise erhielt Savart, indem er die Platte mittelst einer sie senkrecht berührenden transversal schwingenden Saite erschütterte, verschiedene Knotenlinien,

---

12) Unter den Versuchen *Savart's* gehört hieher der durch Pl. I. Fig. 7. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 14.) veranschaulichte, wobei die Platte, in deren Mittelpunkt ein Loch gebohrt ist, durch welches nur mit Mühe eine Saite durchgezogen werden kann, an der hindurchgezogenen, senkrecht aufgespannten Saite in horizontaler Lage schwebend erhalten wird. 13) S. *Fechner*: Repert. I. S. 281. 295 f. 14) Auch *Savart* brachte bei einem seiner Versuche an einer kreisrunden Platte 2, obwohl etwas verzerrte concentrische Kreise hervor, als er sie mittelst eines senkrecht auf ihre Mitte befestigten transversal schwingenden Cylinders erschütterte. S. Annal. a. a. O. p. 25 f. An einer andern kreisrunden Scheibe, die er durch einen Steg mit einer Saite in Verbindung setzte, welche er mit einem Bogen transversal so strich, dass ihre Schwingungsebene mit der Scheibe parallel war, brachte er mehr oder minder vollkommene Kreise oder Ellipsen hervor, über und unter welchen zuweilen ein kleineres oder grösseres Stück von einer diametralen Linie sich zeigte, s. Annal. a. a. O. p. 147 sqq. und Pl. II. Fig. 46—51. 15) S. die Abbildung des hieher gehörenden Apparates von *Savart* in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 7. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 16.).

jenachdem die Schwingungsebene der Saite, der Richtung des streichenden Bogens folgend, die Richtung jenes Diameters hatte, der von dem durch die Saite berührten Punkte zu dem, an welchem sie angestemmt ist, sich erstreckt, oder auf diese Richtung senkrecht war. Im erstern Falle entstanden 2 Curven, die, von diametral entgegengesetzten Punkten des Randes ausgehend, am angestemmten Punkte sich vereinigten und so eine dem lateinischen V, wenn man sich die beiden Striche, statt gerade, auswärts gekrümmt denkt, ähnliche Figur (⌒V⌒) bildeten. Bei dem zweiten Falle bildeten sich einmal 3 Knotenlinien, deren mittelste eine gerade diametrale, die beiden andern etwas gekrümmte Linien waren, welche das Eigenthümliche zeigten, dass sie mit der Richtung der Bewegungen des Sandes, also auch mit der Schwingungsebene der Saite parallel waren, während sie gewöhnlich senkrecht darauf oder mehr oder weniger schief sind. Sehr oft aber sind Knotenlinien an Zahl und Lage von den eben angegebenen verschieden, auch wenn die Saite in derselben Richtung wie bei jenen schwingt ([16]).

γγ) Die Platte ist am Rande *befestigt*. Ihr Grundton ist, nach Poisson ([17]), von keiner Knotenlinie begleitet, wenn man nicht die im befestigten Rande selbst mitrechnen will. Beim nächst folgenden ersten Flageolettone entsteht eine kreisförmige Knotenlinie, deren Abstand vom Mittelpunkte der Platte 0,53 des Radius derselben, mithin etwas über die Hälfte seiner Länge beträgt. Der Grundton verhält sich zu diesem zweiten wie 1 : 1,87. Zu dem Grundtone der am Rande freien Scheibe verhält sich der

---

16) S. die Abbildung dieser Linien in den Annal. a. a. O. Fig. 8. 9. 11. vgl. p. 22. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 17. 18. 20. vgl. 407 f.)

17) *Fechner* a. a. O.

Grundton derselben am Rande befestigten Scheibe wie 2,88 : 1. In Betreff der Anzahl der concentrischen Kreise, welche bei den folgenden Tönen *innerhalb* der Scheibe sich bilden, gilt die nämliche Regel, welche bei *αα.* aufgestellt ist.

Während so eine kreisrunde Platte auf ihrer obern Fläche je nach ihrer verschiedenen Haltung und andern Umständen vollkommene oder unvollkommene Kreise, Curven, auch gerade Linien zeigt, erscheint auf der entgegengesetzten Fläche eine mehr oder minder vollständige diametrale Linie, die auch etwas gekrümmt sein kann. Demnach entspricht auch bei diesen Platten eine Knotenlinie der untern Fläche, wenn auch nicht immer ganz genau, der Mitte des Zwischenraumes zwischen 2 Knotenlinien der obern Fläche. — Bei einer rechteckigen Scheibe sind die Knotenlinien auf beiden Flächen gerade Linien.

Anmerkung. Da am Rande befestigte kreisrunde Scheiben und Membranen nach Poisson bei ihren Schwingungen gleichen Gesetzen folgen (s. Fechner: Repert. I. S. 280 f. 295 f.), so ist es hier um so mehr an seinem Orte, in Bezug auf die § 23. erwähnten kreisförmigen Knotenlinien einer tangential schwingenden kreisrunden Membran, die nachträgliche Bemerkung zu machen, dass Savart dergleichen auf einer eben solchen Membran, die er mittelbar, durch einen senkrecht auf die Mitte derselben aufgesetzten transversal schwingenden Cylinder, in tangentiale Schwingung versetzt hatte, hervorgebracht hat, nur dass die Kreise mehr oder weniger verzerrt sind, jedoch so, dass die Verzerrungen mancher wiederum eine gewisse sternförmige Regelmässigkeit zeigen. Sie enthalten zugleich eine diametrale Linie. S. Annales de chimie et de physique par Gay-Lussac et Arago. Tome XXV. pag. 29. und Planche I. Fig. 18—22.

b) *Tangential transversale Schwingungsart.*

aa) Ihre *Erregung.*

Die *mittelbare Erregung* derselben bewirkt man auf folgende Weise:

α) eine *longitudinal* schwingende Saite erregt diese, wenn sie mit der in Schwingung zu setzenden Platte so verbunden ist, dass sie mit der Fläche derselben in einerlei Ebene liegt und mit deren Breitenaxe oder Durchmesser Eine fortlaufende gerade Linie bildet ([18]);

β) eine *transversal* schwingende Saite bringt jene Schwingungen hervor

αα) wenn sie die Platte in einer *auf deren Breitenkanten senkrechten Richtung* berührt und die Schwingungsebene der Saite *parallel mit der Fläche der Platte ist*, welches man dadurch bewirkt, dass man den die Saite streichenden Bogen genau in dieser Richtung hält und bewegt ([19]);

ββ) wenn sie die Platte in einer *auf deren Oberfläche senkrechten Richtung* berührt und ihre Schwingungsebene *in der Richtung der Breitenaxe* oder des Durchmessers der Platte liegt, welches stets der Fall ist, wenn der die Saite streichende Bogen genau diese Richtung hat ([20]).

bb) Ihre *Schwingungen.*

Bei diesen Schwingungen bewegen sich, wie Savart an dem aufgestreuten Sande beobachtet hat, die Theilchen auf entsprechenden Punkten der obern und der untern Fläche in entgegengesetzter Richtung. Daher bietet die letztere bei aufgestreutem Sande am gewöhnlichsten andere Er-

---

18) Hieher würde von *Savart's* Apparaten der in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 28. abgebildete gehören, wenn man die Saite in Longitudinalschwingungen versetzt, während er sich desselben nur bei Transversalschwingungen der Saite bediente. Wie jenen bei rechteckigen Platten, so kann man in Betreff der kreisrunden den a. a. O. Fig. 39. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. III. Fig. 30.) abgebildeten hierzu anwenden, wenn man die horizontal mit der Scheibe verbundenen Saiten longitudinal schwingen lässt.
19) Die hieher gehörenden Apparate *Savart's* s. in den Annal. a. a. O. Fig. 23. 32. 36. 39. (31.) (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 21. (26.) Tab. III. Fig. 27. 30.).
20) Von *Savart's* Apparaten gehören hieher die in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 1. 3. 5. 7. 12. (14.) Pl. II. Fig. 40. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 14—16. Tab. III. Fig. 31.) abgebildeten.

scheinungen dar als die erstere. Entweder erscheinen nämlich auf beiden Flächen Knotenlinien, aber in verschiedener Lage, oder die obere zeigt eine Knotenlinie, die untere gar keine. Zuweilen aber liegen die Knotenlinien auf beiden Flächen einander genau gegenüber (wie dieses bei schmalen Stäben beständig der Fall ist) (21).

Wir unterscheiden auch hier wieder die Platten nach ihrer Form.

α) *Rechteckige Platten.*

Das Einzige, was hier, nach den mir bekannt gewordenen Versuchen, angeführt werden kann, ist die Gestalt und Richtung der Knotenlinien. Bei einem der erwähnten Versuche Savart's mit einer solchen Platte bildete sich auf der obern Seite eine *gerade* Linie, welche senkrecht auf die Richtung der Bewegungen des Sandes, parallel den Längenkanten lag. Bei einem andern entstanden 4 Curven, ähnlich der Gestalt eines horizontal niedergelegten S, von denen je zwei so neben einander lagen, dass da, wo die eine endete, die andere begann, und beide zusammen die Gestalt (∽∽) zeigten (22).

β) *Dreieckige Platten.*

Eine Holzplatte, deren Hauptflächen Dreiecke bildeten, in welchen die Länge der einen Seite ungefähr ein Sechstel der Länge einer der beiden andern Linien betrug, deren Seitenflächen aber Parallelogramme waren, strich Savart auf der obern Hauptfläche an der der kürzern Seite gegenüber

---

21) *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 403 ff. 410. 420. u. die Abbildungen ebend. Tab. II. Fig. 11. 22. Tab. III. Fig. 35., in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 21. Pl. II. Fig. 71. Dass diese Verschiedenheit der beiden Flächen von Seiten der Knotenlinien nicht etwa bloss bei der mittelbaren Schwingungserregung sich zeige, sondern bei jeder Erregungsart, erhellet aus dem a. a. O. S. 420. erwähnten Versuche, wobei die Holzplatte unmittelbar mit dem Bogen gestrichen wurde.

22) S. die Abbildung des erstern Versuches in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 24. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Fig. 22.), die des zweiten, in den Annal. a. a. O. Pl. III. Fig. 98. vgl. p. 260 sq. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 11. vgl. S. 404.).

liegenden Ecke, ungefähr parallel mit jener kurzen Seite, mit dem Violinbogen, und bewirkte so, dass die Platte in Betreff der beiden längern Seitenflächen transversal, in Betreff der beiden Hauptflächen tangential transversal schwang. Der nach einander auf jede der beiden Hauptflächen und der beiden längern Seitenflächen gestreute Sand zeigte, dass die Knotenlinien der letztern, welche sämmtlich als gerade Linien erschienen, sich einander entsprachen. Von den beiden tangential transversal schwingenden Hauptflächen aber zeigte die obere eine Knotenlinie, die, anfangs in gerader Richtung von der Ecke, an welcher die Platte gestrichen wurde, nach der gegenüber liegenden kürzern Seite des Dreiecks hinlaufend, dann, bevor sie diese Seite erreicht hatte, seitwärts nach einer Stelle der einen von den beiden Seitenlinien sich umbog, und so eine Curve bildete. Auf der entgegengesetzten untern Hauptfläche dagegen zeigte sich gar keine Knotenlinie ([23]).

Anmerkung. Es finden demnach an dieser Platte *primäre* (und zwar die *tangential transversale* Art derselben) und *secundäre* (*transversale*) Schwingungen zugleich Statt. Dergleichen kommt auch sonst vor, da die mannichfaltigsten Schwingungen in einem und demselben Körper zugleich Statt finden können, ohne dass sie einander stören. So kann z. B. nach W. Weber (in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 295.) eine Glasröhre, die an ihrem einen Ende in der Richtung ihrer Länge angestossen wird, zugleich einen doppelten, von *primären* und *secundären* Schwingungen herrührenden Ton geben.

γ) *Kreisrunde Platten.*

Da bei einer solchen die Breite und Länge nicht verschieden sind, so kann man auch nicht eigentlich von tangential longitudinalen und tangential transversalen Schwingungen, sondern nur überhaupt von tangentialen bei einer solchen

---

23) S. Annal. a. a. O. p. 166 sqq. und Pl. II. Fig. 69—71. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 419 f. und Tab. III. Fig. 33—35.).

Platte reden. Daher gehört das oben von den tangential longitudinal Schwingungen dieser Platten Angeführte auch hieher. Auch habe ich eben deshalb dort bei der an einem Punkte angestemmten Scheibe sowohl die Knotenlinien angegeben, welche entstanden, wenn die Schwingungsebene der die Scheibe erschütternden Saite nach diesem angestemmten Punkte hingerichtet war, als auch die, welche bei der hierauf senkrechten Schwingungsrichtung der transversal schwingenden Saite entstanden, da so gut die eine Richtung wie die andere als Richtung der Längenaxe der Platte betrachtet werden konnte.

c) *Tangential schiefe Schwingungsarten.*

So heissen alle diejenigen Schwingungsarten eines Rechtecks, bei welchen die an den Oberflächen tangentiale Bewegung der Theilchen weder parallel mit den Längenkanten (wie die tangential longitudinalen) noch parallel mit den Breitenkanten (wie die tangential transversalen), sondern in einer Richtung geschehen, die zwischen diesen beiden Richtungen liegt. Die Zahl dieser Schwingungsarten ist eben so gross, als die Zahl der verschiedenen Richtungen, die zwischen jenen beiden Hauptrichtungen liegen können.

aa) Ihre *Erregung.*

Die *mittelbare Erregung* derselben geschieht

α) durch eine *longitudinal* schwingende Saite, wenn sie mit der in Schwingung zu setzenden Platte so verbunden ist, dass sie mit der Fläche derselben in einerlei Ebene liegt und mit deren Längen- oder Breitenaxe einen spitzen Winkel bildet;

β) durch eine *transversal* schwingende,

αα) wenn sie die Platte in einer *auf deren Längen- oder Breitenkanten schiefen Richtung* berührt und

die Schwingungsebene der Saite *parallel mit der Fläche der Platte* ist ([24]);

ββ) wenn sie die Platte in einer *auf deren Oberfläche senkrechten Richtung* berührt und ihre Schwingungsebene *eine zwischen der Längen- und Breitenaxe liegende Richtung* hat. Diese Richtung erhält die Schwingungsebene hier und beim erstern Falle dadurch, dass man in eben dieser Richtung die Saite mit dem Bogen streicht ([25]).

bb) Ihre *Schwingungen.*

Die Richtung der bei diesen Schwingungen auf der Platte entstehenden Knotenlinien ist der Regel nach senkrecht auf die Schwingungsebene der Saite, folglich zugleich senkrecht auf die Richtung des streichenden Violinbogens. Daher bewirkt die kleinste Veränderung der Richtung des Bogens auch eine dieser entsprechende Veränderung der Richtung der Knotenlinien. Man kann auf diese Weise mittelst eines gewissen Apparates von Savart ([26]), wobei die transversal schwingende Saite senkrecht auf die Oberfläche einer rechteckigen Platte ist, einer auf ihr entstandenen Knotenlinie durch Änderung der Richtung des die Saite streichenden Bogens jede beliebige Richtung geben. Denn streicht man sie in der Richtung der Breitenaxe der Platte, so liegt in der Regel die Knotenlinie mit der Längenaxe parallel; wendet man den Bogen von dieser Richtung allmälig in die darauf senkrechte, mit der Längenaxe paralle Richtung, so wendet sich auch in der Regel die Knotenlinie in demselben Grade in die mit der Breitenaxe parallele Richtung. Mit diesem Übergange der Knotenlinie

---

24) Hierzu eignet sich z. B. unter *Savart's* Apparaten der in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 28. abgebildete, wenn man die Platte, statt wie dort rechtwinkelig, vielmehr schiefwinkelig horizontal auf die Saite legt. 25) Hieher gehört der ebend. Fig. 5. gezeichnete Apparat *Savart's*. Vgl. ebend. p. 20 sq. 26) S. den oben erwähnten Apparat Fig. 5. und die Abbildung der Knotenlinien, welche den mittelst desselben erregten verschiedenen tangentialen Schwingungsarten zukommen, Fig. 6. vgl. ebend. p. 20 sq.

aus der auf die Breitenkanten senkrechten Richtung in die auf die Längenkanten senkrechte ist natürlich auch, als Ursache dieser veränderten Richtung der Knotenlinien, ein Übergang aus der tangential transversalen Schwingungsart durch die verschiedenen tangential schiefen Schwingungsarten hindurch in die tangential longitudinale Schwingungsart verbunden. — Mittelst eines andern Apparates beobachtete Savart, wie sich bei einer kreisrunden Scheibe, die an einem Punkte ihres Randes an einen festen Körper angestemmt und am diametral entgegengesetzten Punkte von der auf ihre Oberfläche senkrechten Saite berührt wurde, die Knotenlinien veränderten, wenn er den die Saite streichenden Bogen aus der Richtung, die auf jenen Diameter, dessen eines Ende von der Saite, das andere von jenem festen Körper berührt wird, senkrecht ist, nach und nach in die diesem Diameter parallele Richtung übergehen liess. Bei der ersten Richtung des Bogens zeigten sich, wie oben S. 290. erwähnt worden, einmal 3 mit dieser Richtung parallele, andere Male eine vom angestemmten Punkte ausgehende, schief nach einem andern Punkte des Randes laufende Knotenlinie. Bei der letzten Richtung, die auf jene senkrecht ist, zeigten sich 2 vom angestemmten Punkte ausgehende Curven, die zusammen eine dem V, falls man sich die Enden auswärts gebogen denkt, ähnliche Figur (V) bildeten. Bei einer Richtung, die zwischen diesen beiden etwa in der Mitte lag, also ungefähr um 45° gegen jede derselben geneigt war, entstand eine dem angestemmten Punkte mit ihrer concaven Seite zugewandte Curve ([27]). — Über das Verhältniss der Schwingungsgestalt der untern Fläche zu der der obern bei diesen Schwingungsarten ist mir zwar keine ausdrückliche Angabe Savart's zu Gesicht gekommen; aus der Analogie der beiden frühern Schwingungs-

27) Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 7—11; vgl. p. 21 sq. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 10—20; vgl. S. 407 f.).

arten aber lässt sich wohl mit Sicherheit schliessen, dass auch bei diesen Arten auf entsprechenden Punkten der obern und untern Fläche entgegengesetzte Bewegungen der Theilchen und somit auch des aufgestreuten Sandes Statt finden werden.

d) *Normale Schwingungsart.*

aa) Ihre *Erregung.*

Die *mittelbare Erregung* derselben bewirkt man durch folgende Verfahrungsweisen:

α) eine *longitudinal* schwingende Saite erzeugt sie, wenn sie mit der zu erschütternden Platte so verbunden ist, dass sie auf deren Oberfläche senkrecht ist ([28]);

β) eine *transversal* schwingende mit ihr horizontale Saite bringt sie hervor, wenn ihre Schwingungsebene senkrecht auf die Oberfläche der Platte ist, welches man dadurch bewirkt, dass man den die Saite streichenden Violinbogen genau in dieser Richtung bewegt ([29]).

Anmerkung 1. Sehr beachtungswerth ist folgende Beobachtung Savart's. Nimmt man ein cylindrisches Glas, etwa ein Bierglas, hält es seiner Länge nach horizontal und streicht es mit dem Violinbogen transversal, so wird eine dünne Platte, die man in einiger Entfernung vom Boden des Glases rechtwinkelig quer über dasselbe, parallel mit dem streichenden Bogen, gelegt hat, durch die Schwingungen des Glases in *Longitudinalschwingung*

---

28) Als hierzu taugliche Apparate dienen die Note 7. und 20. bezeichneten, falls man die Saite longitudinal schwingen lässt. Bei einem seiner Versuche erregte *Savart* diese Schwingungsart *unmittelbar*, indem er die Platte selbst mit dem Bogen strich, s. Annal. a. a. O. p. 166 f. und Pl. II. Fig. 69. 70. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 419 f. und Tab. III. Fig. 33. 31.).

29) Die hieher gehörenden Apparate *Savart's* sind die in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 23. 28. 32. 36. 39. (31.) Pl. II. Fig. 36. 74. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 21. (26.) Tab. III. Fig. 27. 30.) abgeb. Auch der Apparat in d. Annal. a. a. O. Pl. II. Fig. 40. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. III. Fig. 31.) gehört hieher, wenn die Saite in die Fig. 41. D. (bei *Schweigger* Fig. 32. D.) bezeichnete, mit der Platte horizontale Lage gebracht ist. Mittelst des in den Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 23. abgebildeten Apparates kann man die Platte von tangential transversalen Schwingungen, und mittelst des Fig. 28. dargestellten von tangential longitudinalen Schwingungen zu normalen dadurch übergehen lassen, dass man die anfängliche horizontale Richtung des die Saite streichenden Bogens in die senkrechte verwandelt.

versetzt ganz so, wie es bei a. aa. α. αα. geschah, wo die Platte in gleicher Weise quer über eine transversal schwingende Saite gelegt wurde. Nähert man aber die quer überliegende Platte dem Rande des Glases, so schwingt dieselbe, falls sie nicht auf einem der im Umringe des Glases entstandenen Schwingungsknoten liegt, stets *normal*, die Richtung des transversal streichenden Bogens mag mit ihr parallel sein oder nicht. S. Annales de chimie et de phys., par Gay-Lussac et Arago. Tome XXV. p. 172 sq. und Pl. II. Fig. 76. 77. (Schweigger's Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 421. und Tab. III. Fig. 37. 38.). Die Ursache dieser normalen Schwingung liegt darin, dass, wie § 25. wird ausführlicher erörtert werden, der Umring eines transversal schwingenden Glases in 4, 6, 8 u. s. w. schwingende Theile sich eintheilt, deren je 2 an einander grenzende stets nach entgegengesetzten Richtungen schwingen. Es wird daher die Platte, wenn sie nicht auf einem je 2 solche Theile trennenden Schwingungsknoten (oder vielmehr einer längs des Glases hinlaufenden Knotenlinie), sondern auf einem solchen transversal schwingenden, folglich, bei der horizontalen Lage des Glases, auf- und abwärts sich beugenden Theile ruht, von diesem in einer auf ihre untere Fläche senkrechten Richtung gestossen. Daher wird sie, so lange diese Stösse nicht so stark sind, dass eine Beugung an ihr entsteht, in *normale*, erfolgt aber eine Beugung, in *transversale* Schwingung dadurch versetzt. W. Weber scheint in seinen Bemerkungen zu jenem Versuche Savart's (in Schweigger's Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 289.) die letztere Schwingungsart der Platte zuzuschreiben. — Natürlich wirft man hier die Frage auf: Warum haben die Schwingungen des Glases nahe am Rande eine andere Wirkung auf die darüber gelegte Platte als nahe am Boden? Savart beantwortet dieselbe a. a. O. durch die Bemerkung: »Auf jeden Fall scheint diese Thatsache zu beweisen, dass man unterscheiden muss zwischen den Bewegungen, welche die Molecule machen, und einer Totalbewegung oder Beugung, die den Körper in eine grössere oder geringere Zahl Abtheilungen theilt, welche in entgegengesetzter Richtung schwingen.« Hieraus lässt sich allerdings jene Thatsache, wie ich glaube, folgendermassen erklären. Durch das transversale Streichen mit dem Violinbogen entstehen zwar in dem Glase ausser der Schwingung seiner Molecule, der Transversalschwingung gemäss, zugleich Beugungen, welche jedoch nur am und nahe

bei dem Rande hinlänglich gross genug sind, um auf den über einer Beugung liegenden Körper normal zu wirken. Je weiter nach dem Boden des Glases hin, desto schwächer werden dieselben, weil der Boden die freiere Bewegung hindert. Daher wirkt an diesen Stellen nur die Bewegung der Molecule, welche, wenigstens wenn der Bogen mit der aufliegenden Platte parallel bewegt wird, stets eine tangentiale ist, in eben dieser tangentialen Richtung auf die Platte ein, und bringt so, da sie rechtwinkelig quer aufliegt, tangential longitudinale Schwingungen hervor.

Anmerkung 2. Bei der Beschreibung eines seiner Versuche, eine horizontal an ihrem einen Ende befestigte Platte durch eine auf deren Oberfläche senkrecht gezogene transversal schwingende Saite in tangential transversale Schwingungen zu versetzen, bemerkt Savart: »Endlich muss man, wenn die Saite normal (d. h. hier »transversal«) schwingt, aber auf den Flächen der Platte senkrecht steht, vermeiden, dass sie einen Ton gibt, den auch die Platte bei normaler (d. h. hier »transversaler«) Schwingung geben kann; denn die Platte kann alsdann statt tangential zu schwingen, die normale (d. h. hier »transversale«) Bewegung annehmen, die mit der Saite in Einklang steht«, (s. Annales de chim. et de phys. a. a. O. p. 147. und Pl. II. Fig. 40., in Schweigger's Jahrb. a. a. O. S. 418. und Tab. III. Fig. 31.). Zur Erklärung, warum in einem solchen Falle die Platte eine normale Schwingung annehmen könne, fügt er hinzu: »ce qui pourrait dépendre de la communication du mouvement par le moyen de l'air qui environne l'appareil«. Man würde dann annehmen müssen, dass die Platte, durch den Ton, welchen sie selbst, wenn sie transversal schwingt, geben kann, mittelst der durch die Luft ihr mitgetheilten Schwingungen so stark erregt würde, dass sie, statt wie sonst die durch den tönenden Körper erhaltenen Stösse, der Richtung zufolge, in welcher sie gegeben werden, *tangential transversal* fortzupflanzen und schwach *mitzutönen*, in die jenem Tone entsprechende *selbsttönende transversale* Schwingung überginge. Denn so vielmehr, nicht aber *normal* in der Bedeutung, wie wir mit W. Weber hier allenthalben den Ausdruck gebrauchen, würde dann die Schwingungsart der Platte zu nennen sein. Dass übrigens Savart eben diese transversale Schwingung meint, kann man schon daraus schliessen, dass er auch die transversale Schwingung der tönenden Saite an dieser Stelle

eine normale nennt. Überhaupt muss Jeder, der Savart's Abhandlungen liest und seine Resultate mit denen Chladni's, W. Weber's u. A., oder vielleicht mit dieser Schrift vergleicht, so oft jener von normalen Schwingungen redet, wohl Acht haben, ob er transversale oder eigentliche normale, in der Bedeutung, welche von W. Weber und in dieser Schrift mit diesem Namen verbunden wird (s. § 19. S. 136.), meine. Denn beide bezeichnet er sehr oft mit jenem Namen, weil er sie für einerlei zu halten scheint, wie W. Weber in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 288. bemerkt. Übrigens sprechen, um auf jenen Gegenstand zurück zu kommen, für die aufgestellte Ansicht mancherlei Thatsachen; am stärksten würde die starke Erregung eines Körpers durch Hervorbringung des ihm selbst zukommenden Tones an einem andern Körper durch das S. 62. Note 9. Angegebene dargethan werden, wenn nur das dort Erwähnte schon ausser allen Zweifel gesetzt wäre.

bb) Ihre *Schwingungen.*

Bei einem normal schwingenden Körper liegen die Knotenlinien der beiden Flächen einander genau gegenüber und entsprechen einander vollkommen, wie Savart dargethan hat ([30]). — Der auf die Platte gestreute Sand hüpft bei diesen Schwingungen senkrecht in die Höhe, während er bei den tangentialen Schwingungen an der Fläche fortgleitet ([31]).

e) *Schiefe Schwingungsarten.*

Mit diesem Namen bezeichne ich diejenigen Schwingungsarten, welche zwischen der tangentialen und der normalen liegen, wie ich schon oben bei den Schwingungsarten der Stäbe angegeben habe § 20. S. 152 f. Man darf sie nicht mit unter die *tangential schiefen* Schwingungsarten zählen, da sie keine rein tangentiale Bewegungen, sondern gleichsam aus tangentialer und normaler Bewegung ge-

---

30) In den Annal. a. a. O. p. 32. 35. 141. 144. 149. 167. und Pl. I. Fig. 27. 29. Nr. 2. Pl. II. Fig. 45. 69. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 411. und Tab. II. Fig. 25. — *Biot* II. S. 109.).

31) *Savart* in den Annal. a. a. O. p. 144 f. u. v. a. O., in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. S. 411. 419.

mischt sind, so wie auch der auf eine so schwingende Platte gestreute Sand weder senkrecht emporhüpft, wie bei einer normal schwingenden, noch auch bloss auf der Oberfläche fortgleitet, wie bei einer tangential schwingenden, sondern zwar springt, aber minder hoch und zugleich eine dem blossen Fortgleiten ähnliche Bewegung zeigt. Je näher die schiefe Schwingungsart der normalen steht, desto stärker ist die hüpfende Bewegung desselben vorherrschend, und desto schwächer die fortgleitende ([32]). Die Zahl der verschiedenen schiefen Schwingungsarten ist eben so gross als die der verschiedenen Richtungen, die zwischen einer senkrechten und horizontalen möglich sind. Dass ich zu ihrer Bezeichnung jenen Namen gewählt habe, um sie von den *tangential schiefen* zu unterscheiden, geschah sowohl nach Analogie der Unterscheidung der *transversalen* und der *tangential transversalen*, als auch weil ich keine passendere Benennung als diese finden konnte.

aa) Ihre *Erregung*.

Ihre *mittelbare Erregung* bewirkt man

α) durch eine *longitudinal* schwingende Saite, wenn sie mit der in Schwingung zu setzenden Platte *in einer auf deren Oberfläche schiefen Richtung* verbunden ist;

β) durch eine *transversal* schwingende,

αα) wenn sie mit der Platte so verbunden ist, dass sie mit ihrer Hauptfläche *in Einer Ebene* liegt und ihre Schwingungsebene gegen diese Fläche *eine schiefe Richtung* hat, was man dadurch bewirkt, dass man die Saite in dieser Richtung mit dem Bogen streicht;

ββ) wenn sie mit der Platte so verbunden ist, dass sie *auf deren Oberfläche schief* steht.

---

32) *Savart* in den Annal. a. a. O. p. 145.

bb) Ihre *Schwingungen.*

Sie bilden von Seiten ihrer Richtung den Übergang von den *tangentialen* zu den *normalen.* Mittelst zweier Apparate Savart's lässt sich leicht erkennen, wie sich die Knotenlinien verändern; 1) wenn die *tangential longitudinale* Schwingungsart durch die verschiedenen *schiefen* Schwingungsarten hindurch in die *normale* übergeht ([33]), und 2) wenn die *tangential transversale* Schwingungsart durch die *schiefen* in die *normale* übergeht ([34]). Nur von diesem letztern Übergange hat er die Abbildung der dabei sich zeigenden Veränderung der Knotenlinien gegeben. Bei der tangential transversalen Schwingung, wobei der streichende Bogen mit der Oberfläche der Platte parallel sich bewegte, zeigte sich eine mit den Längenkanten parallel laufende Linie. Bei einer Neigung des Bogens, wobei er mit jener Oberfläche einen Winkel von 20° bildete, zeigte sich statt jener geraden eine 2 Krümmungen enthaltende Schlangenlinie, die von der einen Ecke des befestigten Endes nach der diagonal gegenüber liegenden Ecke des andern Endes sich erstreckte. Bei einer grössern Neigung des Bogens, wobei jener Winkel 45° betrug, erschienen 3 Knotenlinien, wovon die sehr nahe am befestigten Ende liegende auf die Längenkanten senkrecht, die beiden andern aber auf dieselben schief waren und zwar so, dass beide mit der einen Längenkante nach entgegengesetzten Richtungen stumpfe Winkel, und mit der gegenüberliegenden Längenkante nach denselben Richtungen spitze Winkel bildeten. Wurde endlich der Bogen in einer auf die Fläche der Platte senkrechten Richtung be-

---

33) Hieher gehört der ebend. Pl. I. Fig. 28. abgebildete Apparat, wobei die Platte quer über die Saite gelegt wird. Die gegen die Platte schiefe Schwingungsebene der Saite kann man hierbei auf zweierlei Weise erreichen; 1) durch Streichen in schiefer Richtung, während die Platte horizontal aufliegt, 2) durch eine schiefe, geneigte Lage der quer überliegenden Platte, während man in senkrechter oder horizontaler Richtung streicht. 34) Hierzu eignet sich besonders der ebend. Pl. I. Fig. 23. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 21.) abgebildete Apparat.

wegt, so erschienen, bei der nun entstandenen normalen Schwingungsart, 3 auf die Längenkanten senkrechte Knotenlinien. Die untere Fläche zeigte bei der tangential transversalen Richtung bei jenem Versuche gar keine Knotenlinie; bei den schiefen Schwingungsarten aber erschienen dieselben Knotenlinien wie auf der obern, aber in entgegengesetzter Lage; bei der normalen endlich waren die Knotenlinien beider Flächen ganz dieselben ([35]). — Aus dem Obigen wird Jeder leicht selbst folgern können, wie man jene Apparate zu verändern habe, um 3) die *tangential schiefen* Schwingungsarten in *schiefe* und aus diesen weiter in *normale* zu verwandeln und die Wirkungen dieses Übergangs auf die dabei erscheinenden Knotenlinien zu erforschen.

Das hier unter e. Gesagte möge man zugleich als weiter erläuternden Nachtrag zu § 20. S. 152 f. betrachten.

Von diesen bisher betrachteten *primären* Schwingungsarten gehen wir über zur *secundären.*

2) *Secundäre* (*transversale*) *Schwingungsart.*

Diese durch die transversale *Beugung* des schwingenden Körpers von der vorigen Hauptart unterschiedene Schwingungsart (s. § 19. S. 137.) hat vor Allen **Chladni** bei Platten untersucht und darin bekanntlich so Ausgezeichnetes geleistet. Er ist daher bei der folgenden Erläuterung dieser secundären Schwingungen fast durchgängig unser Führer. — Auch bei dieser Schwingungsart erwähnen wir zuerst

a) Ihre *Erregung.*

Die Erregungsarten transversaler Schwingungen zerfallen so wie die früher genannten in die 2 Arten:

---

35) S. Annal. a. a. O. Pl. I. Fig. 24—27. (in *Schweigger's* Jahrb. a. a. O. Tab. II. Fig. 22—25.).

aa) *unmittelbare.* Diese lassen sich wiederum nach der Beschaffenheit der dazu gebrauchten Körper eintheilen. Es werden nämlich jene Schwingungen bewirkt

α) entweder durch einen *festen Körper.* Chladni und Andere haben dazu stets den *Violinbogen* gebraucht, mit dem sie die Scheibe rechtwinkelig strichen. Dieser muss, wenn man an der Scheibe irgend eine solche Schwingungsart und die derselben zukommende Klangfigur hervorbringen will, an derselben Stelle des Randes senkrecht auf und ab geführt werden, und die damit hervorgebrachte Bewegung muss gleichmässig so lange fortgesetzt werden, bis die Figur keine weitere Abänderung mehr erfährt ([36]).

β) oder durch einen *elastisch flüssigen* Körper. Hieher gehört die merkwürdige, zuerst von Thénard und Clément, dann von Hachette beobachtete Thatsache, dass, wenn ein Strom von einer gasförmigen Flüssigkeit durch eine, in eine ebene Wand oder Platte gebohrte, Öffnung entweicht, eine nahe vor die Öffnung gebrachte dünne Platte nicht durch den Gasstrom fortgestossen, vielmehr gegen die Wand getrieben wird, so dass es scheint, sie hafte daran. Bei diesem Versuche erzeugen sich oft, aber nicht immer, sehr tiefe, dumpfe und eben nicht angenehme Töne. Savart hat die Ursache dieser Töne untersucht, und gezeigt, dass sie durch die Schwingungen der Scheiben selbst entstehen. Denn wenn man, einer und derselben Öffnung gegenüber, kreisrunde Scheiben von verschiedenem Durchmesser, aber von gleicher Dicke legt, so verhält sich die Zahl der Schwingungen umgekehrt wie die Quadrate der Diameter, eben so wie

36) *Chladni* S. 120. — *Strehlke* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 18. (94.) S. 200.

es bei mit dem Violinbogen gestrichenen kreisrunden Scheiben der Fall ist; auch sind die Arten der Theilung der Scheibe und ihre Töne bei dieser Erschütterung durch den Luftstrom die nämlichen, wie bei der Erschütterung durch den Violinbogen. Diese Schwingungen bewirkt der Luftstrahl dadurch, dass er die Scheibe in der Mitte nach aussen convex krümmt, worauf dieselbe, wenn sie elastisch ist, vermöge ihrer Elasticität, sich wieder nach der entgegengesetzten Seite krümmen wird, alsdann wieder nach aussen convex wird und so fort. Bei diesen Versuchen muss die Mitte der kreisrunden Scheibe der Mitte der Öffnung, aus welcher der Luftstrahl hervorströmt, entsprechen. Ist dieses nicht genau der Fall, so erzeugt sich entweder kein Ton, oder er ist schnarrend und sehr tief ([37]).

bb) *mittelbare*, z. B. durch einen auf die Mitte der Platte senkrecht aufgestellten Stab, den man in so starke Longitudinalschwingung versetzt, dass durch die von ihm der Platte ertheilten Stösse in dieser ausser ihren Molecularschwingungen zugleich eine Beugung entsteht ([38]).

---

37) S. *Hachette*: von dem Ausflusse gasförmiger Flüssigkeiten in die atmosphär. Luft und von der vereinten Wirkung des atmosphär. Drucks und des Stosses der Luft, in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 10. (86.) S. 265—87. (Einen Auszug daraus findet man in *Schweigger*'s und *Schweigger-Seidel*'s Jahrb. Bd. 23. (53.) S. 304 ff.) und *Savart*: über die bei dem Versuche *Clement*'s erzeugten Töne, ebend. S. 288 ff. — Die Qualität der so hervorgebrachten Töne hängt von der Qualität der Scheibe ab. Bei Papier- oder Pappscheiben erhält man nur unreine Töne oder ein pfeifendes oder zischendes Geräusch, bei metallnen Scheiben hingegen reine Töne (s. a. a. O. S. 274. 283.). Die Höhe dieser letztern hängt von den Dimensionen der angewandten Scheiben und von der grössern oder geringern Geschwindigkeit des Luftstromes ab (vgl. a. a. O. S. 290.). 38) So versetzte z. B. *Faraday* bei mehrern seiner Versuche die Platten in Transversalschwingung durch ein senkrecht auf die Mitte derselben gestelltes, mit angefeuchteten Fingern geriebenes Glasstäbchen oder Glasröhrchen, s. *Poggendorff*'s Annal. Bd. 26. (102.) S. 222 f. 231. 212. 215. Der die Schwingungen erregende Glasstab braucht nicht nothwendig auf der Mitte zu ruhen, sondern kann mit gleichem Effect in irgend einem Abstande von derselben angebracht werden, s. ebend. S. 223.

b) Ihre *Schwingungen.*

Von allen transversal schwingenden geraden Scheiben gilt als Regel, dass die Knotenlinien beider Oberflächen sich einander genau entsprechen. Davon kann man sich z. B. dadurch überzeugen, dass man auf die eine Fläche einer durchsichtigen Glasscheibe angefeuchteten Sand streut, dann diese Fläche nach unten kehrt, und auf die nun oben liegende trocknen aufstreut. Während der letztere beim Schwingen der Platte in Knotenlinien sich ordnet, wird der feuchte Sand der untern Fläche, der durch seine Feuchtigkeit an derselben festgehalten wird, ein Gleiches thun, und man wird bei der Durchsichtigkeit der Scheibe sehen, wie beiderlei Knotenlinien einander gegenüber liegen ([39]).

Ihre Beschaffenheit aber auf beiden Flächen hängt, ausser andern Umständen, namentlich auch von der *Form* und der *Haltung* der Scheiben ab. Es ist daher, um Verwirrungen und Missverständnisse möglichst zu verhüten, vor Allem nöthig, die Scheiben nach der verschiedenen Qualität ihrer *Form* zu unterscheiden. Wir theilen diese nach der Richtung der sie begrenzenden Linien ein in

aa) *geradlinige*, und wiederum nach der Zahl dieser Linien in

α) *vierseitige*,

αα) *gleichseitige (quadrate) Rechtecke*,

ββ) *ungleichseitige Rechtecke;*

β) *dreiseitige*,

γ) *sechsseitige;*

bb) *krummlinige*,

α) *kreisrunde*,

β) *elliptische;*

cc) *gerad- und krummlinige* zugleich: *halbrunde* u. a.

---

39) S. *Strehlke* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 4. (80.) S. 211. — *Fechner*: Repert. I. S. 293. Anm.

Indem wir jede dieser Arten nach den ihr zukommenden Schwingungen erläutern, machen am passendsten den Anfang

aa) die *geradlinigen.*

α) *vierseitige*

αα) *gleichseitige (quadrate) Rechtecke.*

Indem wir so von den verschiedenen *Formen* der Scheiben eine zur genauern Betrachtung abgesondert haben, müssen wir bei ihr wieder die verschiedenen Arten der *Haltung* unterscheiden. Die Zahl der hier möglichen ist dieselbe wie bei den Stäben; es kann nämlich die Scheibe

a) *an allen ihren Seiten frei*, oder

b) *an einer Seite an einen festen Körper angestemmt*, oder

c) *an einer Seite befestigt*, oder

d) *an zwei einander gegenüber liegenden Seiten angestemmt*, oder

e) *an zwei einander gegenüber liegenden Seiten befestigt sein.*

Wir betrachten zuerst

a) *die Schwingungsarten einer an allen Seiten freien Quadratscheibe.*

Bevor aber die Schwingungen selbst erläutert werden, müssen wir erwähnen, wie man eine solche Scheibe in transversale Schwingung versetze. Eine Scheibe, die während ihres Schwingens an allen Enden frei sein soll, kann auf dreierlei Weise gehalten werden:

1) mittelst der *Finger*. Nach Chladni, der dieses Verfahren für das passendste hält, gebraucht man dazu am besten den Daumen und den zweiten Finger, und zwar, so viel als möglich, nur die äussersten Spitzen dieser Finger, weil die festen Linien sehr schmal sind,

so dass, wollte man die Scheibe mit der breitern Fläche der Finger halten, die Schwingungen der den festen Linien benachbarten Theile zu sehr würden gehindert werden. Die Scheibe darf auch nicht etwa an die innere Fläche der Hand anstossen. Wenn die gehaltene Stelle eine bei mehrern Schwingungsarten unbewegliche Stelle ist, so wird es nöthig sein, zur Verhütung einer Beimischung anderer Schwingungsarten, ausser der gehaltenen Stelle noch eine andere Stelle, die nur bei der verlangten Schwingungsart, nicht aber bei den andern in Ruhe bleiben kann, unterwärts mit einem Finger zu berühren ([40]).

2) mittelst einer Art von *Schraube* oder *Pincette*. 2 Apparate der erstern Art haben Chladni ([41]) und Strehlke ([42]) erfunden, welche, ungachtet mancher Verschiedenheit, darin mit einander übereinstimmen, dass das untere Ende der Schraube auf einen unterwärts befindlichen Stift oder Cylinder passt, welcher eben so wie jenes Ende der Schraube mit Tuch gepolstert ist. In diesen Apparat, den Strehlke der Haltung mit den Fingern vorzieht, wird die Scheibe an einer Stelle, wo sich eine Knotenlinie bildet, eingespannt. Faraday ([43]) hingegen bediente sich dazu einer zweckmässig geformten Pincette, deren Enden, wo sie das Glas berühren, in 2 Korkstücken auslaufen.

Was so eben über die Haltung einer ganz freien Quadratscheibe gesagt ist, gilt auch von allen übrigen ganz freien Scheiben, von welcher Art auch ihre Gestalt sein mag.

---

40) *Chladni* S. 119. u. N. Beytr. S. 39. 41) Die Abbildung des von *Chladni* erfundenen Apparates s. in dess. Akust. Tab. III. Fig. 44., vgl. S. 120. 42) Die Abbildung des von *Strehlke* empfohlenen Apparates s. in *Poggendorff's* Annal. Bd. 4. (80.) Tab. IV. Fig. 23. und seine Beschreibung ebend. S. 207 f. 43) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 193.

3) mittelst einer *Unterlage*, von welcher die Scheibe an Stellen, wo Knotenlinien sich bilden, unterstützt wird ([44]). Jedenfalls also muss eine solche Scheibe an einer Stelle gehalten werden, wo eine Knotenlinie sich bildet. Man muss folglich, will man z. B. eine gewisse Schwingungsart hervorbringen, entweder schon ziemlich genau wissen, wo bei derselben Knotenlinien sich bilden oder so lange die Stelle der Haltung verändern, bis man die zu der beabsichtigten Schwingungsart passende findet. Hieraus geht zugleich hervor, dass eine Änderung der Stelle der Haltung auch in der Regel eine Änderung in den Schwingungen und den sie versichtbarenden Knotenlinien zur Folge haben werde, wenn auch der Ton derselbe bleiben kann ([45]).

Wie hier die *Stelle der Haltung*, so ist auch die *Stelle des Bogenstrichs* keineswegs beliebig, sondern die eine Schwingungsart erfordert ihn an diesem, eine andere an jenem Orte ([46]). Dass auch durch Stärke und Schnellig-

44) *Chladni* räth dem, dessen Finger nicht recht geschickt zu gehöriger Haltung der Scheibe sind, dieselbe allenfalls auf ein Stückchen Kork, oder zusammengedrehtes Papier, oder auf eine andere dergleichen nicht allzuharte Unterlage zu legen und mit einem Finger schwach aufzudrücken und etwa noch an einer schicklichen Stelle mit der Spitze des Daumen zu berühren, damit sie sich bei dem Streichen nicht verrücke, s. Akust. S. 119 f. *Faraday* legte bei vielen seiner Versuche die in Schwingung zu setzenden Platten auf 2 dreiseitige als Stege dienende Holzstücke, oder auf 4 an passenden Stellen untergesetzte schmale Korkfüsse, s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 201. 207. 210. 222 f. u. a. *Strehlke* bediente sich dazu vertical untergesetzter Holzstäbchen, welche, an den Berührungsstellen mit der Scheibe, kleine kreisförmige Tuchstückchen trugen; oder er legte auch die Scheibe auf die Finger der linken Hand. Er rühmt an diesem Verfahren die Scheibe von Einer Seite zu unterstützen, 1) den Umstand, dass, wenn man nur ungefähr die Unterstützungspunkte getroffen, bei welchen man Ein Mal eine bestimmte und deutliche Figur erhalten habe, man sicher sein könne, so oft man wolle, dieselbe Klangfigur zu erhalten, während es bei der Unterstützungsart, welche man durch Einspannung der Scheibe auf beiden Flächen erhalte, fast unmöglich sei, dieselbe Klangfigur zum zweiten Male zu erhalten, weil es nicht leicht sei, zum zweiten Male genau dieselbe Unterstützungsstelle zu erhalten und weil man nicht gut dieselben Umstände zurückführen könne. Ausserdem 2) erklärt er die Schwingungsarten, welche man auf diese Weise erhält, für die freiesten, in welche die Scheibe versetzt werden könne, und bei welchen sich der Einfluss, den die Anordnung der kleinsten Theile der Scheibe in Beziehung auf gewisse Axen der ruhenden Linien äussert, am unbefangensten ausspreche. S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 18. (94.) S. 201 f. 45) *Chladni* S. 119. und N. Beytr. S. 8 f. 39 f. — *Strehlke* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 18. (94.) S. 201. Bd. 27. (103.) S. 538 ff. 46) *Chladni* a. a. O. — *Strehlke* a. a. O. Bd. 18. (94.) S. 201. 210. 222 ff. Bd. 27. (103.) S. 538 ff.

keit des Bogenstrichs die Schwingungsart zum Theil bedingt werde, ist bereits S. 256. erwähnt

Da die Beschaffenheit der Schwingungen aus den *Knotenlinien* und den *Tönen* erkannt wird, so müssen beide genauer ins Auge gefasst werden:

aa) die *Knotenlinien.*

Bei ihnen gibt es, wie aus § 22. bekannt ist, 4 zu beachtende Punkte; 1) ihre *Zahl*, 2) ihre *Lage*, 3) ihre *Richtung und* 4) ihre *Gestalt.*

1) Die *Zahl der Knotenlinien* beläuft sich bei diesen Scheiben wenigstens auf 2; während aber so ihr Minimum eine Grenze hat, ist ihr Maximum an sich unbegrenzt. Die Erfahrungen Chladni's haben indess gezeigt, dass die Zahl zum Theil durch die Grösse der Scheiben bedingt ist, indem sich auf grössern bei gehöriger Übung die Hervorbringung der verwickeltern Schwingungsarten weiter treiben lässt ([47]). Die specielleren Angaben ihrer Zahl bei den verschiedenen beobachteten Fällen enthält die folgende Tabelle.

2) Die *Lage der Knotenlinien* kann, wie ihre Gestalt, nur aus den Abbildungen der Klangfiguren deutlich erkannt werden. Die einzigen allgemeinen Bemerkungen, welche sich hierüber machen lassen, sind:

   1) von den einer Seite der Scheibe parallelen Linien liegt die dem Rande nächste auf allen quadratischen Scheiben *dem Rande näher als der ihr nächsten Knotenlinie* der innern Fläche, folglich ist ein am Rande liegender Theil allemal kleiner als ein zwischen festen Grenzen (Knotenlinien) liegender ([48]), steht aber mit dem letztern in einem andern Verhältniss als bei Stäben, indem

47) *Chladni* S. 119.

48) *Chladni* N. Beytr. S. 7. — *Strehlke* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 18. (94.) S. 215.

bei Scheiben der Abstand der dem Rande nächsten Knotenlinien vom Rande selbst grösser ist als bei den Stäben der Abstand einer an einem freien Ende liegenden Knotenlinie von diesem Ende ([49]). — Genauer noch, als so eben geschehen, jenen Abstand auf Scheiben allgemein zu bestimmen, ist deshalb unmöglich, weil er nach der Verschiedenheit des Stoffes und der Dicke der Scheiben verschieden ist, wie Strehlke's Messungen gezeigt haben ([50]).

2) die Knotenlinien liegen *in Beziehung auf den Mittelpunkt der Scheibe symmetrisch*, wenn dieselbe überall von gleicher Dicke (planparallel) und gleicher Elasticität ist. Diese Regel steht so fest, dass man bei erscheinender Dissymmetrie (falls diese nicht durch unpassendes Halten und Streichen veranlasst ist) einerseits aus den Intervallen der Knotenlinien beurtheilen kann, welcher Theil der Scheibe eine grössere und welcher eine geringere Dicke besitzt ([51]); andererseits, wenn die Scheibe planparallel ist, eine Verschiedenheit der Elasticität daraus folgern darf ([52]).

3) Die *Richtung der Knotenlinien* ist bei einer Quadratscheibe, wie bei einer rechteckigen überhaupt, von zweierlei Art. Sie liegen nämlich entweder in der Richtung der Breite, oder in der Richtung der Länge, oder in beiden zugleich. Zwar gehen sie keineswegs

49) *Strehlke* ebend. Bd. 27. (103.) S. 539. 50) Ebend. Bd. 27. (103.) S. 538 ff. Er mass indess — was hier zur Verhütung eines Missverständnisses ausdrücklich erwähnt werden muss — nicht den Abstand der wirklich hervorgebrachten Knotenlinien, sondern nur der Punkte, wo die hervorgebrachten Hyperbeln und andern Curven sich durchschnitten. Da diese Durchschnittspunkte aber eben diejenigen Punkte sind, durch welche die geraden Knotenlinien des Randes laufen (wenn dergleichen vorhanden sind — was nach *Strehlke*'s Theorie indess nie der Fall sein kann, da, seinen Beobachtungen zufolge, nur krumme Linien sich zeigen), so kommt die Messung des Abstandes jener Punkte vom nächsten Rande auf dasselbe hinaus, wie wenn der Abstand der durch sie laufenden geraden Linien vom Rande gemessen wäre. 51) Ebend. S. 536. 52) *Strehlke* ebend. Bd. 18. (94.) S. 207. 217.

immer (nach Strehlke, nie) mit den Breiten- oder Längenkanten parallel, indem sie auch Diagonalen oder Curven sein können, aber sie lassen sich doch auf mit jenen Dimensionen parallel gehende Linien beziehen ([53]). — Die Ursachen, wovon es abhängt, dass die Knotenlinien in dieser oder jener Richtung erscheinen, sind, so weit man sie bis jetzt kennt, folgende:

1) die *Stelle der Haltung* und *des Bogenstrichs* ([54]),
2) die *Stärke des Druckes bei der Haltung* und *beim Bogenstrich* ([55]),
3) die *Elasticität der Scheibe* ([56]).

4) Die *Gestalt der Knotenlinien* ist bei Quadratscheiben nach Chladni und Savart von zweierlei, nach Strehlke nur von einerlei Art. Den Erstern zufolge können nämlich die Knotenlinien sowohl *gerade* als auch *krumm* sein und sich durchschneiden; nach des Letzten Ansicht dagegen können sie nur *krumm* sein und sich nicht durchschneiden ([57]). Wir folgen hier den beiden Erstern und namentlich Chladni's Angaben in

---

53) *Chladni* N. Beytr. S. 9. 54) S. die Note 45. angeführten Stellen, vgl. N. Beytr. Tab. I. Fig. 6. a—e. — *Baumgartner* S. 261. 55) Den Einfluss des *Druckes bei der Haltung* der Scheibe erkennt man namentlich beim Einspannen derselben in einen der oben bezeichneten Apparate. *Strehlke* bemerkt hierüber Bd. 18. (94.) S. 201.: »Selbst das stärkere Einspannen der Scheibe verändert die Curven. So habe ich mehrere Male bemerkt, wie durch stärkeres Anziehen der Schraube die Lage einer hyperbolischen Curve so verändert wurde, dass die neue Hauptaxe der Curve auf der ersten senkrecht war.« — Den Einfluss des *Druckes beim Bogenstrich* bezeugt *Chladni* S. 120. und N. Beytr. S. 40., indem er sagt: »Wenn bei derselben Art des Haltens und des Streichens einfachere Schwingungsarten, die tiefere Töne geben, und zusammengesetztere, die höhere Töne geben, erscheinen können, so werden erstere besser durch einen langsamern Bogenstrich mit vielem Drucke, und letztere besser durch einen schnellern Bogenstrich mit wenigerem Drucke hervorgebracht werden können.« Obgleich nun hierin zunächst der Einfluss dieses Druckes auf die Beschaffenheit der Schwingungsarten überhaupt ausgesprochen ist, so liegt doch zugleich auch sein Einfluss auf die Richtung der Knotenlinien mit darin eingeschlossen, in sofern dieselbe durch die Schwingungsart überhaupt bedingt wird.

56) Dieses hat *Savart* zunächst bei kreisrunden Scheiben dargethan (s. dess. Abh: »Untersuchung über die Elasticität der regelmässig krystallisirten Körper«, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 206 ff., und s. »Untersuchungen über das Gefüge der Metalle«, ebend. S. 218 ff; einen Auszug daraus s. in *Fechner's* Repert. I. S. 294 f.); natürlich aber gilt dasselbe auch von Quadratscheiben, vgl. oben S. 250 f. 57) *Chladni* hat seine auf höchst zahlreiche Beobachtungen gestützte Behauptung in s. Akust. S. 123 ff.

seinen akustischen Schriften und zwar um so mehr, da Strehlke nirgends die bei den abgebildeten Klangfiguren vernommenen Töne angegeben hat. Nach Chladni und Savart beruht die Gerad- und Krummlinigkeit der Knotenlinien zwar nicht bei allen Schwingungsarten, aber doch bei vielen,

1) auf der Stelle des Haltens und Streichens (58),
2) auf gleichmässiger oder ungleichmässiger Dicke und Consistenz, oder auch auf Abweichungen der Gestalt von der vollkommenen Genauigkeit (59),
3) auf gleicher oder ungleicher Elasticität und Structur der einzelnen Theile der Scheibe (60).

Von Seiten dieser Gestalt der Knotenlinien kann man die Klangfiguren in 3 Classen eintheilen;

1) solche, deren sämmtliche Linien *gerade* sind;
2) solche, deren Linien theils *gerade*, theils *krumme* sind;
3) solche, deren sämmtliche Linien *krumme* sind.

N. Beytr. S. 8 ff. und, mit besonderem Bezug auf *Strehlke*, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 5. (81.) S. 345 ff. ausgesprochen. — Dass *Savart* hierin gleicher Ansicht mit *Chladni* ist, erhellet z. B. aus den Note 56. angezeigten Abh. — *Strehlke* hat seine gleichfalls auf Beobachtungen gestützte Meinung in folg. Abh. bekannt gemacht: »Beobachtungen über die Klangfiguren auf ebenen nach allen Dimensionen schwingenden homogenen Scheiben«, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 4. (80.) S. 205 ff.; »Über Klangfiguren auf Quadratscheiben«, ebend. Bd. 18. (94.) S. 198 ff.; vgl. auch s. Abh.: »Über die Lage der Schwingungsknoten auf elastischen geraden Stäben u. s. w.« ebend. Bd. 27. (103.) S. 537 ff. — Vgl. *Fechner*: Repert. I. S. 291 f.

58) *Chladni* S. 122. u. a., N. Beytr. S. 8 f. 22. und in *Poggendorff's* Annal. Bd. 5. (81.) S. 345 f.

59) Ebend. Hierin findet *Chladni* die Ursache der abweichenden Resultate *Strehlke's*. Dieser gebrauchte nämlich Scheiben von Messing oder Glockenmetall, während *Chladni* sich der Glasscheiben zu seinen Versuchen bediente. Man wird aber selten Metallscheiben erhalten können, die homogen genug, d. i. überall von hinlänglich gleicher Dicke und Consistenz sind, um Klangfiguren, besonders die zusammengesetztern, regelmässig und symmetrisch zu geben. *Chladni* betrachtet daher alle von *Strehlke* dargestellten Figuren als Verzerrungen regelmässiger Figuren. S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 5. (81.) S. 345. — *Fechner* a. a. O. S. 291 f. — Auch von den Glasscheiben sind aus gleichem Grunde nicht alle gleich tauglich; namentlich ist das Fensterglas dem Spiegelglase vorzuziehen, weil dieses, wegen seiner grössern Dicke, noch grössere Ungleichheiten in der innern Anordnung seiner Theile zulässt, denn selbst Scheiben von dünnem Fensterglase sind nicht immer ganz frei von diesem Mangel und von durchgängig gleicher Dicke. S. *Biot* II. S. 63. — *Chladni* N. Beytr. S. 4 f.

60) Dieses hat *Savart* in den genannten Abh. dargethan, s. *Fechner's* Auszug a. a. O. S. 294 f. und die daraus § 22. S. 250 f. angeführten Stellen.

Erscheinen Klangfiguren dieser dritten Classe neben andern der beiden erstern Classen *ohne Änderung des Tones*, so betrachtet Chladni die der ersten oder zweiten Classe angehörigen Figuren als die *ursprünglichen* oder *Grundformen*, die der dritten aber als *Abänderungen* oder *Verzerrungen* derselben (s. § 22. S. 260 ff.), welche durch irgend eine der zuvor genannten Ursachen aus den erstern umgewandelt sind. Erscheint indess eine solche sonst als Abänderung oder Verzerrung der ursprünglichen Gestalt betrachtete Figur symmetrisch genug, so sieht er sie, bei manchen Schwingungsarten, als die eigentliche regelmässige Gestalt an. — Während aber so in vielen Fällen gerade Linien in krumme der verschiedensten Art ohne Veränderung des Tones sich verwandeln können, gibt es dagegen andere Schwingungsarten, wo die Krümmung der Linien, namentlich die Richtung ihrer Biegung, ob sie nämlich *concav* oder *convex* gegen den Mittelpunkt der Scheibe ist, Einfluss auf den Ton hat (s. § 22. S. 261.). — Man könnte hiernach meinen, es hänge vom Zufall ab, ob eine Krümmung Einfluss auf den Ton habe oder nicht; dieses ist aber keineswegs der Fall, sondern es waltet vielmehr ein von Chladni ([61]) entdecktes merkwürdiges Naturgesetz hier ob. Es findet nämlich eine *wesentliche Verschiedenheit* Statt zwischen den Schwingungsarten, wo die *Summe der Knotenlinien*, die nach beiden Richtungen gehen, eine *gerade* Zahl ist, und denjenigen, wo sie *ungerade* ist. Nur die Schwingungsarten, wo nach der einen Richtung so viele Linien gehen, wie nach der andern, machen hiervon eine Ausnahme. Wir bezeichnen diesen Fall im Folgenden mit n|n.

---

61) *Chladni* N. Beytr. S. 10 f. (vgl. Akust. S. 132. 135. 137 f.).

1) Die Schwingungsarten, bei welchen die *Summe* der Knotenlinien eine *gerade* Zahl ist, d. i. wenn nach der einen sowohl als nach der andern Richtung eine gerade oder eine ungerade Zahl von Linien geht, können (mit Ausnahme von n|n) an einer regelmässigen Scheibe *nie mit lauter geraden Linien* erscheinen. Es dürfen daher bei diesen die krummen Linien nicht als unregelmässige Abänderungen gerader Linien betrachtet werden; vielmehr sind die Gestalten, wo die meisten Linien am stärksten gekrümmt, oder wohl gar ganz diagonal gerichtet sind, und welche, *nach allen Richtungen* betrachtet, am meisten *symmetrisch* sind, als die regelmässigsten anzusehen. Die Biegungen der bei diesen Schwingungsarten erscheinenden krummen Linien sind allemal einer ganzen Zahl 1, 2, 3 u. s. w. gleich. Bei einer genauern Vergleichung dieser Schwingungsarten findet man, dass (mit Ausnahme von n|n) immer *je zwei* an Zahl der Knotenlinien einander gleich, aber darin von einander verschieden sind, dass die Biegungen der äussern Linien bei der einen einwärts, bei der andern auswärts sind, so dass die Figur der erstern mehr *concav*, die der letztern mehr *convex* ist. Der Ton der concaven ist allemal tiefer als der der convexen. Man hat daher diese beiden nicht als blosse Abänderungen einer gemeinsamen Grundform, sondern als *zwei verschiedene Schwingungsarten* anzusehen.

2) Die Schwingungsarten, wo die *Summe* der nach beiden Richtungen gehenden Linien eine *ungerade* Zahl ist, d. i. wenn nach der einen Richtung eine gerade, und nach der andern eine ungerade Zahl von Linien geht, können sowohl mit lauter geraden, als auch mit gekrümmten und auf man-

cherlei Art in einander geschlungenen Linien sich zeigen. Die Zahl der Biegungen ist bei diesen gekrümmten Linien nie eine ganze Zahl, sondern $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ u. s. w. Die regelmässig verzerrten Gestalten dieser Art sind allemal nur, *in diagonaler Richtung* betrachtet, *symmetrisch*. Der Ton bleibt hier, bei allen Schwingungsarten, die eine gleiche Summe von Knotenlinien enthalten, sich aber darin unterscheiden, dass die Linien der einen gerade, die einer andern krumm oder mit krummen gemischt sind, ganz derselbe, so dass man dergleichen Figuren nur als *Abänderungen* oder *Verzerrungen Einer Grundform*, und somit sämmtlich als *Eine Schwingungsart* zu betrachten hat.

Anmerkung 1. Die eben erwähnte, von Chladni behauptete *Identität des Tones der verzerrten Klangfiguren und ihrer nicht verzerrten Grundform* hat, wie schon § 22. S. 262 f. gesagt ist, den Widerspruch Savart's erfahren, welcher die von Chladni als Verzerrungen betrachteten Figuren vielmehr für Übergänge zwischen verschiedenen, nicht verzerrten Klangfiguren (denen verschiedene Flageolettöne zukommen) erklärt. Er beruft sich dabei 1) auf jene Schwingungsarten, die bei gleicher Zahl der Knotenlinien, doch wegen der bei der einen einwärts, bei der andern auswärts gerichteten Biegung etwas verschiedene Töne geben, 2) auf die zahlreichen Übergänge einer Schwingungsart in die andere, die er in fast allen zu musikalischen Zwecken gebrauchten Körpern nachweist. (S. z. B. seine Abbildungen *tonloser* Figuren, die er auf quadratischen und runden Membranen beobachtet hat, in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 20. (50.) Taf. I. Fig. 2—16.) Allein der erstere Beweis fällt deshalb weg, weil Chladni, wie zuvor erwähnt worden, jene beiden Schwingungsarten für verschiedene Schwingungsarten, nicht aber für blosse Verzerrungen erklärt. Der zweite Beweis aber thut zwar das Vorhandensein von Übergängen überhaupt dar, nicht aber, dass alle jene Verzerrungen, bei welchen allen die Platten *tönten*, dergleichen Übergänge bildeten. Es findet allerdings wohl, wie W. Weber in Bezug hierauf (im angef. Jahrb. Bd. 20. (50.)

S. 177.) bemerkt, ein Übergang von einer tönenden Schwingung zu einer ganz andern tönenden Schwingung durch eine Reihe *nicht tönender* (weniger deutlicher und präciser) stehender Schwingungen, nicht aber durch lauter *tönende* Schwingungen Statt. Indess gibt W. Weber darin Savart Recht, dass *manche* der von Chladni beobachteten Verzerrungen der Klangfiguren schon der *Anfang zum Übergange* einer Schwingungsart in eine andere seien, und dass bei diesen Verzerrungen selbst die Zahl der Schwingungen, während der Ton schwach werde und zu verschwinden anfange, ein wenig geändert werde. Wenn aber ein schwingender Körper einen deutlichen Ton gibt, befindet er sich in einer sehr gleichförmigen und heftigen Schwingung, die nur möglich ist, wenn die Zahl seiner schwingenden Abtheilungen genau bestimmt, und die Summe der Bewegungen in allen möglichst gleich ist, wo dann die Höhe des Tones (die Geschwindigkeit der Schwingungen) unveränderlich ist, weil sie eben so bloss von der Elasticität und der Gestalt des Körpers abhängt, wie die Geschwindigkeit der Schwingungen eines Pendels von bestimmter Länge von der Schwerkraft (s. ebend. S. 178.).

Anmerkung 2. Während Chladni sich das grosse Verdienst erworben, die Klangfiguren der Quadratscheiben nach der Zahl ihrer Linien gehörig geordnet und ihre Tonverhältnisse bestimmt zu haben, hat sich Strehlke durch Messungen der von ihm auf quadratischen Scheiben hervorgebrachten Klangfiguren verdient gemacht. Er fand, indem er die Coordinatenverhältnisse seiner aus lauter krummen Linien bestehenden Klangfiguren bestimmte, dass diese Verhältnisse bei den einfachern Figuren so beschaffen sind, dass eine hyperbolische oder elliptische Gestalt daraus hervorgeht, und was die zusammengesetzteren Figuren betrifft, welche nicht als einfache Kegelschnitte erscheinen, so scheint es, dass dieselben sich als Zusammensetzungen von Kegelschnitten betrachten lassen. Man findet diese Untersuchungen in Poggendorff's Annal. Bd. 18. (94.) S. 198 ff.

Nachdem wir so die *Knotenlinien* erläutert haben, bleiben noch übrig

bb) die *Töne*,

welche bei jenen vernommen werden. Wie man sich das Verhältniss zwischen Tönen und Klangfiguren überhaupt

zu denken habe, ist bereits § 22. S. 257 ff. gezeigt; hier führen wir nur das an, was auf Quadratscheiben sich bezieht. Bei einer tabellarischen Übersicht des Tonverhältnisses der verschiedenen Schwingungsarten dieser Scheiben ist es unmöglich, sämmtliche zuvor aufgezählte Eigenschaften der Klangfiguren anzugeben; wir müssen uns daher auf folgende als die wichtigsten und auf den Ton der Scheibe einflussreichsten beschränken;

1) auf die *Zahl* der Knotenlinien,

2) auf ihre *Richtung*,

3) auf ihre *Gestalt*, jedoch so, dass wir diese nur da berücksichtigen, wo sie, dem Obigen zufolge, Einfluss auf den Ton hat.

Diese einzelnen Punkte werden in der folgenden Tabelle und den ihr beigefügten Erläuterungen nach Chladni auf folgende Weise angezeigt:

1) Die *Zahl* der Knotenlinien wird, so oft dergleichen sowohl in der Richtung der Länge, als in der der Breite liegen, nicht in der Totalsumme angegeben, sondern die Summe der in der Richtung der Breite liegenden und die Summe der in der Richtung der Länge liegenden, so dass man erst durch Addition beider die ganze Summe aller einer einzelnen Schwingungsart angehörenden Knotenlinien erhält.

2) Die *Richtung* der Knotenlinien wird in der Tabelle auf folgende Weise bezeichnet. Die Zahlen, welche in derselben zu äusserst links eine senkrechte Reihe bilden, zeigen die Zahl der in der Richtung der Breite gehenden Knotenlinien an; die rechts in diagonaler Richtung herablaufende Zahlenreihe zeigt die Zahl der in der Richtung der Länge gehenden Knotenlinien an. In den Erläuterungen der Tabelle trennen wir die

Zahl der Breitenlinien von der der Längenlinien durch einen senkrechten Strich von einander, und zwar so, dass die in der Richtung der Breite laufenden zur Linken, die in der Richtung der Länge laufenden zur Rechten dieses Striches stehen. Gehen nur nach der Einen Richtung Linien, keine zugleich nach der andern, so wird der Mangel der letztern durch 0 auf der einen Seite des Striches angezeigt, z. B. 3|2 deutet an, dass nach der Richtung der Breite 3, nach der der Länge 2 Linien; 3|0, dass nur nach der erstern Richtung 3, nach der letztern aber keine liegen ([62]). — Da bei den Quadratscheiben die Breite der Länge gleich, und es folglich da, wo nach der einen Richtung eine grössere Zahl von Linien, als nach der andern, oder auch nach der letztern gar keine geht, einerlei ist, ob man die Richtung, der jene grössere oder alleinige Zahl angehört, als Breite oder als Länge betrachtet, so ziehen wir mit Chladni ([63]) es vor, überall diese Richtung als Breite zu betrachten, weil man es dadurch vermeidet, einerlei Zahlen 2 Mal aufführen zu müssen, falls man die eine Zahl von Linien das eine Mal als der Breite, das andere Mal als der Länge angehörend betrachtete. Demnach beginnt in der folgenden von Chladni ([64]) entlehnten Tabelle jede Reihe der Schwingungsarten mit derjenigen, wo nur nach der Breite Knotenlinien gehen, und schliesst mit derjenigen, wo nach der Länge eben so viele wie nach der Breite laufen.

3) Die *Gestalt* der Knotenlinien durfte da, wo dieselbe nach S. 315 f. Einfluss auf den Ton hat, nicht unberücksichtigt bleiben. In der Tabelle sind die beiden Schwingungsarten, die bei gleicher Zahl der Knoten-

---

62) *Chladni* S. 131. 63) N. Beytr. S. 9 f. 64) Ebend. Tab. V.

linien etwas verschie
sern Linien der einen
Aussen gekrümmt sind
von einander getrennt
wegen einwärts geb
hat, oberhalb des S
ihrer auswärts gekrü
hat, unterhalb des S
diese Stellung über o
werden wir späterhi
durch eine oberhalb o
gebenen senkrechten
unterscheiden, z. B.
welche unter ihren I
der Breite, 2 in de
wärts gebogene enth
hat; $\overline{3|2}$ aber die S
Zahl der Linien aus
deshalb einen höher

Die Zeichen +
chen beigefügt sind,
der zu bezeichnende
fer sei als der de
entsprechende. We
bisweilen oder nur
oder tiefer bei d
wurde, so ist solch
chens (+) oder (-
chen sind auch bei
hältnissmässigen Sc
dieselben etwas kl
die wahre Verhältni

65) *Chladni*: N. Beytr. S. 11.

ingungsarten

ein Tonverhältnissen und den verhältnissmässigen zahlen.

	5	6	7	8	9
1					
2					
3					
4					
	ʒ, 180				
	224 (+) 231 (−)	256 (+) c, 264 (−)			
	275 , 280 286 288	320 324 e, 325	360 fis, 364		
	336 338	377 (+) g, 384 390 gis, 392	432 a, 435	h, 480	
	390 —, 392 400 , 405	b, 450	c —, 495 510 c, 512	cis +, 561	dis, 612

Zur weitern Erläuterung der Schwingungsarten der Quadratscheiben knüpfen wir an diese Tabelle folgende Bemerkungen

1) über ihre *Klangfiguren*.

1) Eine Quadratscheibe kann nie so schwingen, dass nur Eine Knotenlinie sich bildete, sondern die einfachste Schwingung ist die, wo sowohl nach der Richtung der Breite als auch nach der Richtung der Länge eine Knotenlinie sich zeigt, mithin 1|1. Bei dieser Schwingungsart gibt sie ihren tiefsten Ton, dessen sie transversal schwingend überhaupt fähig ist. Als solcher ist in dieser Tabelle G angenommen.

2) Die Schwingungsarten, welche aus dem oben genannten Grunde durch eine horizontale Linie gesondert worden, weil die eine einwärts, die andere auswärts gebogene Linien hat, sind folgende: in der zweiten Reihe 2|0, in der dritten 3|1, in der vierten 4|0, 4|2, in der fünften 5|1, 5|3, in der sechsten 6|0, 6|2, 6|4, in der siebenten 7|3, 7|5, in der achten 8|0, 8|2, 8|4, 8|6, in der neunten 9|3, 9|5, 9|7. Man sieht, dass bei allen die Summe der auf beiden Seiten des senkrechten Striches stehenden Zahlen eine *gerade* Zahl ist, dass aber unter ihnen keine einzige Schwingungsart ist, bei welcher nach der einen Richtung so viele Linien als nach der andern gehen, wie z. B. 1|1, 2|2 sind. Dies möge zum erläuternden Belege des oben S. 315 f. Gesagten dienen. — Dieser Regel würde ohne Zweifel auch 9|1 folgen, wenn Chladni diese Schwingungsart an einer Scheibe hervorzubringen vermocht hätte ([66]).

3) Je mehr auf den ersten Blick die Klangfiguren einer an allen Enden freien Quadratscheibe von einander abzuweichen und von Seiten ihrer Gestalt auf keine Regel zurückführbar scheinen, desto mehr bewundert

66) Vgl. *Chladni*: N. Beytr. S. 32.

man bei genauerer Vergleichung eine gewisse *Regelmässigkeit der Fortschreitung*, mit der gewisse Klangfiguren sich aus einfachern entwickeln. Bemerkenswerth ist in dieser Hinsicht namentlich zweierlei:

a) Von denjenigen Schwingungsarten, deren jede in 2 wesentlich verschiedene Arten, dem Obigen nach, zerfällt, schreiten folgende, auf der obigen Tabelle eine diagonale Reihe bildende 2|0, 3|1, 4|2, 5|3, 6|4, 7|5, 8|6, 9|7, bei denen also die Zahl der nach der einen Richtung laufenden Knotenlinien überall um 2 geringer als die der andern Richtung ist, nach folgendem merkwürdigen Gesetze in ihren Gestalten fort. Auf jeder Stufe, wo sowohl nach der einen als nach der andern Richtung eine *gerade* Zahl von Linien geht, erhält die Klangfigur zu den Linien, die sie auf der vorhergehenden, eine *gerade* Zahl von Linien besitzenden Stufe hatte, noch eine *Umgebung* mehr; und auf jeder Stufe, wo sowohl nach der einen als nach der andern Richtung eine *ungerade* Zahl von Linien geht, erscheint die Figur, welche auf der nächst vorhergehenden Stufe mit *geraden* Zahlen von Linien Statt fand, noch von einem parallel mit den Seiten gehenden *Kreuze* durchschnitten. So unterscheidet sich z. B. die Klangfigur der Schwingungsart $\underline{3|1}$ von $\underline{2|0}$, und $\overline{3|1}$ von $\overline{2|0}$ durch ein hinzugekommenes Kreuz dieser Art. Die Klangfiguren bei 4|2 haben kein solches Kreuz, sondern unterscheiden sich $\underline{4|2}$ von $\underline{2|0}$, und $\overline{4|2}$ von $\overline{2|0}$ durch eine neu hinzugekommene Umgebung ($\overline{4|2}$ jedoch zugleich noch durch einen in der Mitte entstandenen Kreis). Die Klangfigur von $\underline{5|3}$ unterscheidet sich von der bei $\underline{4|2}$, und $\overline{5|3}$ von $\overline{4|2}$ durch den Hinzutritt eines Kreuzes, ganz so wie es bei 3|1 eintrat ([67]). — Eine ähn-

67) *Chladni*: N. Beytr. S. 36 f. und Tab. I. Fig. 2. 3. 7. 8. 14. 15. Tab. II. Fig. 22. 23.

liche Fortschreitung der Gestalten findet man bei der von den Schwingungsarten 4|0, 5|1, 6|2, 7|3, 8|4, 9|5 gebildeten diagonalen Reihe obiger Tabelle, bei denen die Zahl der nach der einen Richtung laufenden Linien um 4 geringer ist als die der andern Richtung (68).

b) Gewisse Klangfiguren vorzüglich grösserer Scheiben gleichen einer *Nebeneinanderstellung von einfachern Klangfiguren.* Um sich dieses zu veranschaulichen, ziehe man durch gewisse minder einfache Klangfiguren, parallel mit den Seiten der Scheibe, Linien, wodurch das Quadrat in 4 oder 9 kleinere Quadrate oder in 2 Quadrate und 4 längliche Rechtecke zerlegt wird, so wird man auf den so erhaltenen Abtheilungen entweder einerlei einfachere Klangfiguren, oder zweierlei symmetrisch mit einander abwechselnde einfachere Klangfiguren erblicken (69).

Ausser diesem bemerken wir noch

2) über die *Töne:*

1) Die Töne der Schwingungsarten 2|0, 3|0, 4|0, 5|0, 6|0, 7|0, 8|0, 9|0, welche in der ersten senkrechten Reihe der obigen Tabelle stehen, müssen, der Theorie zufolge, mit den Quadraten der ungeraden Zahlen 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 übereinkommen, weil sie den Schwingungen eines an beiden Enden freien Stabes in sofern am nächsten kommen, als sie

---

32. 33. Tab. III. Fig. 41. 42. 52. 53. 63. 64.

68) S. ebend. S. 37 f. Tab. I. Fig. 11. 12. 19. 20. Tab. II. Fig. 29. 30. 38. 39. Tab. III. Fig. 49. 50. 58. 59.

69) Diese weitere Ausdehnung hat *Strehlke* der Zerlegung der minder einfachern Klangfiguren gegeben und in seinen Abbildungen durch punktirte Linien verdeutlicht, in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 4. (80.) S. 214 ff. und Tab. III. und IV. vgl. Bd. 18. (94.) S. 224., während *Chladni* S. 141 f. nur eine solche Eintheilung erwähnt, wo das grössere Quadrat in 4 kleinere zerfällt, die alle einerlei einfachere Klangfigur zeigen. Dergleichen sind unter den vom Letzteren abgebildeten Klangfiguren auf Tab. IV. Fig. 68. a., welche der viermal (zu einem Quadrate) neben einander gestellten Fig. 63. gleich ist, Fig. 72. a. = 4 × Fig 61., Fig. 73. a. = 4 × Fig. 65.; auf Tab. V. Fig. 82. = 4 × Fig. 68. a., Fig. 88. b. = 4 × Fig. 70., Fig. 91. = 4 × Fig. 71. b., Fig 93. = 4 × Fig. 76., u. s. w. Noch mehrere andere der Art wird man unter den in den N. Beytr. Tab. I—III. gegebenen Abbildungen finden, wenn man sie genauer mit einfachern Figuren vergleicht.

nur Knotenlinien in der Richtung der Breite enthalten. Mit dieser Theorie stimmen diejenigen Zahlen, welche Schwingungsarten mit einer ungeraden Zahl von Knotenlinien, nämlich den Schwingungsarten 3|0, 5|0, 7|0, 9|0 angehören, vollkommen überein; denn die denselben zukommenden Schwingungszahlen 25, 81, 169, 289 sind genau die Quadrate von 5, 9, 13, 17. Bei den Schwingungsarten aber, welche eine gerade Anzahl von Knotenlinien bilden, 2|0, 4|0, 6|0, 8|0, und wovon jede in 2 verschiedene Schwingungsarten zerfällt, kommt die Schwingungszahl der oberhalb des Theilungsstriches jener Felder stehenden, tiefer tönenden, der Quadratzahl jener Progression näher als die der unterhalb des Striches stehenden einen etwas höhern Ton gebenden Schwingungsart ([70]).

2) Werfen wir endlich noch einen Blick auf die Zunahme der Höhe in den Tonreihen der Tabelle, so ergibt sich, dass

a) in den *horizontalen* Reihen, von oben an gezählt, der Zwischenraum zwischen den beiden äussersten Tönen derselben anfangs grösser ist, dann aber, je weiter die Reihe nach unten hin liegt, immer etwas abnimmt. Denn die Reihe 2|0, 2|1, 2|2 umfasst etwas mehr als $1\frac{1}{2}$ Octaven; aber schon in der nächst folgenden Reihe 3|0 bis 3|3 ist der Umfang der Töne etwas kleiner, denn er beträgt nur etwa eine Octave und eine grosse Terz; jedoch beträgt auch in der untersten Reihe 9|0 bis 9|9 der Umfang etwas über eine Octave.

b) In den *senkrechten* Reihen dagegen ist sowohl der Umfang der Töne der ersten Reihe, von der Linken an gezählt, als auch die Abnahme dieses Umfanges, je weiter rechts die Reihe liegt, von denen jener horizontalen Reihen sehr verschieden. Denn

70) *Chladni*: N. Beytr. S. 12. 14. 20 f. 24. 26. 30.

die mit 0 überschriebene senkrechte Reihe umfasst 5 Octaven. Die mit 1 überschriebene umfasst, da sie mit 7|1 aufhört ([71]), 4 Octaven und eine Septime; führt man sie aber bis 9|1 der Analogie nach fort, so umfasst sie, da der Ton dieser Schwingungsart ohne Zweifel das fünfgestrichene dis sein würde, 5 Octaven und eine übermässige Quinte. Die dritte, mit 2 überschriebene enthält nur noch 3 Octaven und eine Quinte oder Quarte; die vierte nur 2 Octaven und eine Quarte, bis endlich in der achten der Umfang nur etwas mehr als einen ganzen Ton beträgt.

Anmerkung. Zu dem erwähnten *quantitativen* Unterschiede, dem der *Tonhöhe*, gesellt sich bei gewissen Schwingungsarten noch ein anderer gleichfalls *quantitativer*, der der *Stärke*, und ein *qualitativer*. Im Allgemeinen kann man sagen, dass Schwingungsarten, deren Klangfiguren convex sind, und wo das Innere von Knotenlinien umschlossen ist, stärkere und volltönendere; dagegen die, welche concave Klangfiguren haben und wo in der Mitte sich Linien durchschneiden, schwächere und spitzigere Töne geben, s. Chladni N. Beytr. S. 35. 38.; vgl. s. Akust. S. 132 f. — Eine andere Verschiedenheit ist die, dass manche Schwingungsarten mit Leichtigkeit und bei gehöriger Genauigkeit des Haltens und Streichens mit vielem Nachhalle erscheinen; andere aber, wenn auch noch so genau verfahren wird, nur mit Zwange und ohne Nachhall, zugleich meistens mit einem etwas rauhen Klange, s. Chladni N. Beytr. S. 35. vgl. Akust. S. 136.

Alles bisher Gesagte bezieht sich auf diejenige Haltungsweise der Quadratscheiben, wo sie *an allen Enden frei* sind. Von den übrigen möglichen Haltungsweisen, die wir oben des vollständigen Überblicks wegen aufgestellt haben, ist bloss noch diejenige, wo das eine Ende der Scheibe an einen festen Körper angestemmt ist, etwas näher geprüft.

b) *Schwingungsarten einer an einer Seite an einen festen Körper angestemmten Quadratscheibe.*

Chladni erwähnt von diesen Schwingungsarten nur 2,

71) Es ist nämlich *Chladni* bei seinen Versuchen nie gelungen, die Schwingungsarten 8|1 und 9|1 an einer und derselben Scheibe deutlich hervorzubringen, vgl. ebend. S. 27. 31 f.

die ihm am häufigsten vorgekommen sind. Stemmt man eine Quadratscheibe an der einen Ecke an einen festen Gegenstand, und streicht an der Ecke, welche jener angestemmten entgegengesetzt ist, während man die Scheibe an einer Stelle der so entstandenen Knotenlinie hält, so erfolgt eine Schwingungsart, welche ungefähr eben das an einer Quadratscheibe ist, was die erste Schwingungsart eines an dem einen Ende angestemmten Stabes in ihrer Art ist. Der Ton ist um eine kleine Septime tiefer als bei der Schwingungsart 1|1 einer an allen Enden freien Quadratscheibe.

Während bei dieser Schwingungsart nur Eine Knotenlinie sich bildet (was bei einer ganz freien Scheibe nie eintreten kann), entstehen bei gleichen Stellen der Anstemmung und des Streichens, wenn man die Scheibe näher nach dem gestrichenen Ende zu hält, 2 Knotenlinien, die aber durch Lage und Gestalt von den Knotenlinien der freien Scheiben unterschieden sind. Der Ton dieser letztern Schwingungsart, die sich mit der zweiten Schwingungsart eines an einem Ende angestemmten Stabes vergleichen lässt, ist um eine Octave höher als bei der zuvor verglichenen Schwingungsart 1|1 einer freien Scheibe ([72]). Ist nun der Ton von diesem 1|1 G; so ist der Ton jener erstern Schwingungsart einer angestemmten Scheibe contra Aïs, der dieser zweiten g.

Angeführt muss indess noch werden, dass nicht Anstemmung einer Ecke allein schon solche Schwingungsarten bewirke, dass vielmehr die Scheibe, wenn die Stelle, wo sie gestrichen wird, dieselbe bleibt, bei beiderlei Haltungsweisen, bei der ganz freien und der angestemmten, auf einerlei Art schwingen und daher auch gleiche Klangfiguren hervorbringen könne, dass jedoch diese dann von der Art sind, dass sie bei der Anstemmung häufiger und bestimm-

---

72) *Chladni* S. 141. und Tab. V. Fig. 97. 98.

ter zum Vorschein kommen als ohne Anstemmung. So kann z. B. die Schwingungsart 3|2 auf einer ganz freien Scheibe sowohl mit lauter geraden Linien, als auch mit mehr oder weniger getrennten und in diagonaler Richtung wellenförmigen Linien, ohne Veränderung des Tones, erscheinen. In der letztern Gestalt aber erscheint sie besonders dann, wenn die linke obere Ecke angestemmt wird. Chladni betrachtet deshalb dergleichen Klangfiguren nicht als den angestemmten Scheiben eigenthümliche, sondern als blosse Umänderungen anderer Klangfiguren ganz freier Scheiben ([73]).

Anmerkung. Wer die von Chladni abgebildeten Figuren dieser beiden Schwingungsarten mit den beiden ersten eines an einem Ende angestemmten Stabes vergleichen will, wird freilich auf den ersten Blick keine Ähnlichkeit wahrzunehmen glauben; dessen ungeachtet lässt sich eine solche nachweisen. Zieht man nämlich von der angestemmten Ecke zu der ihr diagonal entgegengesetzten gestrichenen Ecke eine Diagonallinie, so erkennt man, wenn man bloss die Punkte beachtet, wo die entstandenen Knotenlinien von dieser Diagonale durchschnitten werden, dass der Durchschnittspunkt bei der ersten nur Eine Knotenlinie enthaltenden Schwingungsart weniger als um $\frac{2}{5}$ der Länge der Diagonale von der angestemmten Ecke entfernt ist; dass bei der 2 Knotenlinien zeigenden Schwingungsart der Durchschnittspunkt der einen ungefähr um $\frac{2}{5}$, der der andern etwa um $\frac{4}{5}$ der Länge der Diagonale von der angestemmten Ecke entfernt liegt. Vergleicht man nun die Lagen dieser Durchschnittspunkte mit den Entfernungen der Knotenlinien jenes Stabes von seinem angestemmten Ende, so wird man die hierin sich zeigende Ähnlichkeit nicht verkennen. Aber nicht bloss von dieser Seite sind beiderlei Schwingungsarten vergleichbar, sondern auch von Seiten des gegenseitigen Abstandes ihrer Töne. Denn sowohl contra Aïs und g dieser Schwingungsarten einer angestemmten Scheibe, als auch d und $\overline{\text{b}}$+, die Töne der beiden ersten Schwingungsarten eines an einem Ende angestemmten Stabes (wie sie in der Tabelle § 20. an-

---

73) *Chladni* S. 131. 136. und Tab. IV. Fig. 71. b. c. 80. b. c., und N. Beytr. S. 23. und Tab. I. Fig. 9. a. b.

gegeben sind), sind um eine Octave und kleine Septime von einander entfernt.

Von den bisher betrachteten *gleichseitigen (quadraten) Rechtecken* gehen wir über zu den

ββ) *ungleichseitigen (länglichen) Rechtecken,*

d. h. solchen, bei denen der eine Durchmesser (oder die Länge) grösser als der andere (oder die Breite) ist, deren Flächen folglich Parallelogramme sind (74). Auch hier unterscheiden wir die oben S. 308. angegebenen verschiedenen Haltungsweisen.

a) *Schwingungsarten eines an allen Seiten freien ungleichseitigen Rechtecks.*

Hier genügt es nicht, die verschiedenen Schwingungsarten bloss Einer Scheibe dieser Art zu berücksichtigen, sondern es müssen die von mehrern Scheiben, zwischen deren Länge und Breite verschiedene Verhältnisse obwalten, in Betracht gezogen werden, weil mit einer solchen Verschiedenheit des Verhältnisses beider Durchmesser auch eine Verschiedenheit der Schwingungsart verbunden sein kann. Es möge deshalb hier die Übersicht der von Chladni (75) erforschten verschiedenen Schwingungsarten solcher Scheiben folgen, die alle in Hinsicht des Verhältnisses der beiden Durchmesser von einander abweichen. Vor jedem Tone einer Schwingungsart wird durch Zahlen bestimmt, wie Länge und Breite bei der Scheibe, welcher dieser Ton angehört, zu einander sich verhalten, und zwar so, dass die Breite durch die erste Zahl, die Länge durch die zweite bezeichnet wird. Die über den senkrechten Reihen stehenden Zahlen bezeichnen die der Breite nach gehenden Knotenlinien, die Zahlen links vor den horizontalen Abtheilungen geben die der Länge nach laufenden Knotenlinien an.

74) *Chladni* nennt diese *Rectangelscheiben.* Ich vermeide diesen Ausdruck deshalb, weil er, seiner eigentlichen Bedeutung nach, die Quadratscheiben mit umfasst, und auch von jenem an andern Stellen in dieser letztern Bedeutung gebraucht wird.

75) Akust. S. 121—130. und N. Beytr. S. 45—52.

Tabelle der Schwingungsarten

eines an allen Seiten freien ungleichseitigen Rechtecks.

	0	1	2	3			
3	(1 : 1 gis) 8/9 : 1 cis 5/6 : 1 dis + 4/5 : 1 f + 5/7 : 1 a + 3/5 : 1 dis 1/2 : 1 a +	(1 : 1 h, c) 8/9 : 1 e 5/6 : 1 fis 4/5 : 1 g + 5/7 : 1 h 3/5 : 1 c 1/2 : 1 b —	(1 : 1 fis) 8/9 : 1 a + 5/6 : 1 h — 4/5 : 1 c + 5/7 : 1 dis 3/5 : 1 g 1/2 : 1 c	(1 : 1 c) 8/9 : 1 dis + 5/6 : 1 e 4/5 : 1 f + 5/7 ; 1 gis — 3/5 : 1 h 1/2 : 1 dis	(1 : 1 fis) 8/9 : 1 gis, a 5/6 : 1 b 4/5 : 1 b + 5/7 : 1 h, c 3/5 : 1 dis 1/2 : 1 fis	(1 : 1 h, c) 8/9 : 1 cis, d 4/5 : 1 dis 5/7 : 1 e 1/2 : 1 b	(1 : 1 e) 8/9 : 1 fis
4	(1 : 1 gis —, gis) 8/9 : 1 cis — 5/6 : 1 dis 4/5 : 1 f 5/7 : 1 a 3/5 : 1 dis —	(1 : 1 b —) 8/9 : 1 d 5/6 : 1 e 4/5 : 1 f + 5/7 : 1 a + 3/5 : 1 dis	(1 : 1 cis, d) 8/9 : 1 f 5/6 : 1 g 4/5 : 1 gis, a 5/7 : 1 h — 3/5 : 1 e +	(1 : 1 fis) 8/9 : 1 a + 5/6 : 1 b + 4/5 : 1 c + 5/7 : 1 dis 3/5 : 1 g	(1 : 1 b) 8/9 : 1 cis, d 4/5 : 1 dis + 5/7 : 1 f + 3/5 : 1 a	(1 : 1 dis) 8/9 : 1 f 4/5 : 1 gis	
5	(1 : 1 e + 8/9 : 1 a	(1 : 1 f, fis) 8/9 : 1 b	(1 : 1 gis) 8/9 : 1 c	(1 : 1 h, c) 8/9 : 1 dis	(1 : 1 dis) 8/9 : 1 fis	(1 : 1 fis) 8/9 : 1 b	

Zur weitern Erläuterung dieser Tabelle mögen folgende Bemerkungen dienen:

1) Die in jeder Rubrik obenan stehende eingeklammerte Angabe bezieht sich nicht auf die hier zu erörternden ungleichseitigen Scheiben, sondern auf die gleichseitigen, wie aus dem stets beigefügten Verhältniss der beiden Durchmesser (1 : 1) erhellet, weil nur bei Quadratscheiben beide einander gleich sind. Der dabei stehende Ton ist der obigen Tabelle über diese Art der Scheiben entnommen, aus der deshalb auch so wie aus den ihr beigefügten Erläuterungen als bekannt vorausgesetzt wird, woher es komme, dass in manchen Fällen 2 Töne neben einander angegeben sind. Dass aber diese Töne der Quadratscheiben hier hinzugesetzt sind, soll dazu dienen, die Vergleichung der Töne dieser Scheiben mit denen der ungleichseitigen zu erleichtern, eine Vergleichung, die zwar erst in den § 29. gehört, da uns hier vielmehr die Vergleichung der Schwingungsarten ungleichseitiger Scheiben, *jede einzeln für sich betrachtet*, obliegt; allein indem diese Tabelle das Letztere leistet, erreichen wir nicht minder zugleich das Erstere, *die Vergleichung der Schwingungsarten dieser Scheiben unter einander und mit den Quadratscheiben in Hinsicht ihres Tonverhältnisses*, und ersparen so für den später folgenden Paragraphen die Aufstellung einer besondern Tabelle.

2) Schon oben S. 315 f. ist von den Rechtecken überhaupt, den gleichseitigen sowohl als den ungleichseitigen, gesagt, dass sich manche Schwingungsarten nie mit lauter geraden, mit den Seiten parallelen Linien hervorbringen lassen, sondern sich auf 2 verschiedene Arten zeigen, so nämlich, dass entweder die äussern Linien mehr einwärts, oder dass sie mehr auswärts gebogen sind, und dass also die Klangfigur im Ganzen entwe-

der mehr *concav* oder mehr *convex* erscheint, wo dann im erstern Falle der Ton stets tiefer ist als im letztern, wenn die Zahl von Knotenlinien nach der einen und nach der andern Richtung in beiden Figuren dieselbe ist. Diesem ist hier nur noch die Bemerkung beizufügen, dass es bei ungleichseitigen Rechtecken noch nicht gelungen ist, so, wie bei den Quadratscheiben, das allgemeine Gesetz aufzufinden, nach welchem sich die Ordnung der doppelt vorhandenen Stufen richtet (76).

3) Von Seiten der *Richtung der Knotenlinien* sind, wie man aus jener Tabelle erkennt, 3 Fälle zu unterscheiden:

aa) die *Knotenlinien laufen nur mit dem Durchmesser der Breite parallel*, oder können doch, falls sie sich krümmen, als mit ihm parallel betrachtet werden (77). Dann kommen die Schwingungsarten mit denen überein, deren ein frei schwingender Stab fähig ist,

1) von Seiten der *Zahl der Knotenlinien*. Denn wie ein solcher Stab bei seiner einfachsten Schwingungsart 2 Knotenlinien bildet, so bildet auch eine so schwingende länglich rechteckige Scheibe, wenn sie ganz frei ist, bei ihrer einfachsten Schwingungsart 2 Knotenlinien, und die *Zahl* der letztern schreitet bei den folgenden Schwingungsarten eben so wie bei jenen Stäben fort.

2) von Seiten der *Lage der Knotenlinien*. Denn sie ist bei beiden Körpern dieselbe bei jeder

---

76) *Chladni*: N. Beytr. S. 45 ff.

77) Es können nämlich die ihrer eigentlichen Bestimmung nach geraden Knotenlinien sich krümmen; und diese Krümmung kann auch so zunehmen, dass 2 abwechselnd sich einander nähernde und von einander entfernende Linien endlich in diagonaler Richtung sich rechtwinkelig durchschneiden. Da durch diese Verzerrung der Linien das Tonverhältniss meistens gar nicht, und in einigen Fällen nur wenig verändert wird (s. *Chladni* S. 126.), so können auch jene Linien so angesehen werden, als liefen sie, gleich andern, mit den Durchmessern parallel.

ihnen gemeinsamen Schwingungsart. Auch bei diesen Scheiben ist nämlich ein an einem freien Ende liegender Theil ungefähr halb so gross als ein zwischen 2 Knotenlinien befindlicher, so dass einer der letztern Art, wie bei den Stäben, als eine Vereinigung zweier der Grösse eines Endtheiles ungefähr gleichen Theile betrachtet werden kann.

3) von Seiten des *Tonverhältnisses.* Denn die Töne dieser Scheiben verhalten sich, bei dieser Art zu schwingen, gleich denen jener Stäbe, wie die Quadrate der ungeraden Zahlen 3, 5, 7 u. s. w., die Breite der Scheibe sei so beträchtlich oder so gering, als man wolle, da diese, *so lange bloss Knotenlinien in die Breite gehen*, fast gar keinen Einfluss auf den Ton hat, indem namentlich die Veränderung des Verhältnisses der Breite zur Länge von $\frac{5}{6}:1$ an durch alle in der Tabelle genannte Verhältnisse hindurch bis zu dem von $\frac{1}{8}:1$ den Ton der Scheibe durchaus unverändert lässt (78).

Um diese Vergleichung der Schwingungsarten 2|0, 3|0, 4|0, 5|0, 6|0, 7|0 mit denen freier Stäbe zu erleichtern, stellen wir jetzt dieselben auf die Weise, wie oben bei den Stäben geschah, nämlich so auf, dass wir statt der Zahl der Knotenlinien die Zahl der dadurch sichtbar getrennten Theile setzen (deren Zahl stets um 1 grösser als die erstere ist) und dieser in Klammern diejenige Theilzahl beifügen, welche man erhält, wenn man einen zwischen 2 Knotenlinien befindlichen Theil für 2 Theile rechnet, weil er ungefähr die doppelte Grösse eines an einem freien Ende

78) S. *Chladni* S. 125. 127. 154. und N. Beytr. S. 49.

liegenden Theiles hat, indem wir diesen als Maassstab gebrauchen. So erhält man folgende Reihe, in welcher die untern Zahlen die sind, mit deren Quadraten die Töne übereinkommen:

3 (4)	4 (6)	5 (8)	6 (10)	7 (12)	8 (14)
dis	$\bar{a}$	$\bar{\bar{a}}$ —	$\bar{\bar{\bar{f}}}$ +	$\bar{\bar{\bar{c}}}$	$\bar{\bar{\bar{f}}}$
3	5	7	9	11	13.

Diese Schwingungsarten bringt man an einer solchen Scheibe am besten hervor, wenn man sie an einer Stelle, auf welche eine der äussersten Knotenlinien fällt, mit den Spitzen des Daumens und des zweiten Fingers hält, und *in der Mitte einer schmalen Seite* mit dem Violinbogen streicht ([79]).

bb) Die *Knotenlinien laufen nur mit dem Durchmesser der Länge parallel*, oder können doch als mit ihm parallel betrachtet werden ([80]). Knotenlinien dieser Richtung können aber nur eintreten, wenn die Breite der Scheibe sich dazu eignet und man *an einer langen Seite* mit gehöriger Genauigkeit streicht ([81]). Auch von den so gerichteten Linien bilden 2 die einfachste Schwingungsart bei dieser Haltungsweise, demnach sind 2 derselben die möglichst geringste Zahl. Die bei 2, 3 und mehrern solchen Knotenlinien erfolgenden Töne stehen in demselben Verhältnisse unter einander wie die bei aa., sind aber höher als diese letztern ([82]).

cc) *Es laufen Knotenlinien mit beiden Durchmessern parallel*, oder können doch als mit ihnen parallel betrachtet werden. Wollten wir auch hier auf eine weitere Erläuterung eingehen, so würden wir abermals 2 Fälle unterscheiden:

---

79) *Chladni* S. 125.

80) S. Note 77.

81) *Chladni* S. 126. vgl. *Strehlke* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 27. (103.) S. 537.

82) *Chladni* a. a. O.

1) Die Schwingungsarten, wo die der *Breite* nach liegenden Knotenlinien nur von *einer* der *Länge* nach gehenden Linie durchschnitten werden, mithin 1|1, 2|1, 3|1, 4|1 u. s. w.;

2) diejenigen, wo die erstern durch *zwei* oder *mehrere* Linien der letztern Art durchschnitten werden, also 1|2, 1|3 u. s. w., 2|2, 2|3 u. s. w.

Wir beschränken uns indess auf die Bemerkung, dass die Töne im erstern Falle ungefähr mit der Folge der Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w. übereinstimmen, mithin unter einander wie die Zahlen der Querlinien sich verhalten, dass aber die gegenseitige Entfernung der Töne bei veränderter Breite sich ändert, indem sie mit der Vergrösserung dieser Dimension gleichfalls sich vergrössert ([83]).

4) Die *Gestalt der Klangfiguren* dieser Scheiben ist, wie Strehlke ([84]) gezeigt hat, in gewissen Fällen von der Art, dass sie sich als die *Nebeneinanderstellung einfacherer Klangfiguren quadratischer Scheiben* betrachten lässt, welche entweder von einerlei Art oder von verschiedener Art sind, aber symmetrisch mit einander abwechseln.

b) *Schwingungsarten eines an einer schmalen Seite an einen festen Körper angestemmten, übrigens aber freien ungleichseitigen Rechtecks.*

Dergleichen Schwingungsarten lassen sich, eben so wie die einer an 2 einander entgegengesetzten Seiten angestemmten Scheibe dieser Art, meistens nur wenige und auch diese nur mit Mühe hervorbringen, und dabei sind die Töne sehr rauh und die Klangfiguren meistens sehr unregelmässig, weil die Anstemmung nicht überall so gleichför-

---

83) *Chladni*: Akust. S. 126 f.

84) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 4 (80.) Tab. III. Fig. 5. 7. 18. vgl. ebend. S. 214 f.

mig sein oder so gleichförmig wirken kann, dass die Schwingungen nicht gehindert werden sollten. Geschieht die Anstemmung nur in einem oder wenigen Punkten, so lassen sich zwar mancherlei Schwingungen leichter hervorbringen, diese sind aber dann nicht nach denselben Grundsätzen wie jene zu beurtheilen, da sie meistens Verzerrungen solcher Klangfiguren sind, die einer freien Scheibe zukommen ([85]), gerade so wie bei einer Quadratscheibe dieses Statt finden kann, s. oben S. 328 f. — Obgleich nun demzufolge die Schwingungen und Töne einer an der einen Seite angestemmten Scheibe dieser Art zu unbestimmt sein werden, als dass sich viele genaue Beobachtungen daran machen liessen, so geht doch aus der Analogie aller Schwingungsweisen solcher Scheiben mit denen der Stäbe so viel mit Gewissheit hervor, dass ihre einfachste Schwingungsart die sein wird, wo sich, der Analogie mit einem an dem einen Ende angestemmten Stabe gemäss, eine der Breite nach gehende Knotenlinie bildet, die ungefähr um ein Drittheil der ganzen Länge von dem freien Ende entfernt ist ([86]).

c) *Schwingungsarten eines an einer schmalen Seite befestigten, übrigens freien ungleichseitigen Rechtecks.*

Dieses kann bei dieser Haltungsweise *ohne Knotenlinie* schwingen, eben so wie ein an einem Ende freier, an dem andern fester Stab ([87]). Bei dieser Schwingungsart gibt es, gleich diesem, den tiefsten Ton, dessen es überhaupt fähig ist. Bei allen übrigen bilden sich Knotenlinien auf dieselbe dreifache Weise wie bei a.:

aa) entweder *laufen die Knotenlinien mit dem Durchmesser der Breite parallel.* Diese Schwingungsarten sind als die Fortsetzung jener einfachsten zu betrachten; denn wie jene mit der einfachsten Schwingungs-

85) *Chladni* S. 125. 86) Ebend. S. 129. 87) Ebend. S. 128.

art eines an einem Ende festen Stabes übereinkommt, so stimmen diese mit seinen folgenden Schwingungsarten überein, die mit Einer Knotenlinie mit seiner zweiten, die mit 2 Knotenlinien mit seiner dritten u. s. w. Jene Eine liegt wie bei dem genannten Stabe ungefähr um ein Drittheil vom freien Ende entfernt; von jenen 2 ist, wie bei der entsprechenden Schwingungsart jenes Stabes, die dem freien Ende zunächst liegende ungefähr um $\frac{1}{5}$, die zweite um $\frac{3}{5}$ von diesem Ende entfernt (88). Auch die Tonverhältnisse sind die nämlichen, wie die eines solchen Stabes. Dieses zeigt folgender Überblick, bei welchem die obern nicht eingeklammerten Zahlen die Theile bezeichnen, in welche die Scheibe durch die Knotenlinien sichtbar eingetheilt wird; die eingeklammerte Theilzahl aber erhält man, wenn man einen zwischen 2 Knotenlinien oder zwischen einer Knotenlinie und dem befestigten Ende liegenden Theil als eine Vereinigung zweier Theile betrachtet, deren jeder ungefähr die Grösse des am freien Ende liegenden Theiles hat. Die Zahl der Knotenlinien jeder Schwingungsart erhält man, wenn man die nicht eingeklammerte Theilzahl um 1 vermindert. Demnach bezeichnet die Theilzahl 1 die zuerst erwähnte, keine Knotenlinie bildende Schwingungsart. Die Töne sind so berechnet, dass sie dasselbe gegenseitige Verhältniss haben wie die des entsprechenden Stabes, zugleich aber auch zu den oben angegebenen Tönen einer ganz freien Scheibe sich ebenso verhalten wie jene Töne eines an einem Ende festen Stabes zu denen eines ganz freien (in der Tabelle S. 161.).

1	2 (3)	3 (5)	4 (7)	5 (9)	6 (11)	7 (13)
Ges (89)	d	$\overline{as}$	$\overline{\overline{as}}$ —	$\overline{\overline{\overline{f}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}$
	3	5	7	9	11	13

88) *Chladni* S. 128. und Tab. III. Fig. 51—53.

89) Dieses Ges gehört der Octave

Bei allen diesen Schwingungsarten muss das Streichen *in der Mitte des freien Endes* geschehen.

bb) *Eine oder mehrere Knotenlinien gehen mit dem Durchmesser der Länge parallel.* Die Zahl dieser Knotenlinien hängt zunächst von der Breite der Scheibe ab. Um diese Schwingungen hervorzubringen, streicht man an einer Stelle *einer langen Seite* ([90]).

cc) *Es laufen Knotenlinien mit beiden Durchmessern parallel.* Auch hier sind wie S. 336. 2 Fälle zu unterscheiden:

1) nur *eine* Knotenlinie geht der *Länge* nach, und diese wird von einer oder mehrern mit dem Breitendurchmesser parallelen Knotenlinien durchschnitten. Zu diesen Schwingungsarten gehört diejenige von bb., wo nur Eine Knotenlinie der Länge nach geht, als die einfachste Schwingungsart. Denn zwischen dieser und denen, wo diese Linie von einer oder mehrern Querlinien durchschnitten wird, findet dasselbe Verhältniss Statt, wie zwischen der, wo gar keine Knotenlinie sich bildet und den bei *aa.* genannten. Die Töne dieser Schwingungsarten, deren Reihe mit der angegebenen von bb. beginnt, verhalten sich bei einer rechteckigen Scheibe, die im Verhältniss der Länge nur eine geringe Breite hat, wie die Reihe der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w. Je geringer die Verschiedenheit der Länge und Breite ist, desto mehr erweitert sich der Abstand der Töne von einander, wie oben bei cc. 1. S. 336. Ein allgemeines Verhältniss dieser Töne zu denen der Schwingungsart bei *aa.* und bb. lässt sich eben so wenig angeben, wie oben S. 336. bei cc. 1.

---

an, die mit dem sogenannten 32-füssigen C beginnt, ist also eine Octave tiefer als Contra-Ges, vgl. ebend. S. 34. 90) *Chladni*: Akustik S. 128 f.

das Verhältniss der Töne zu denen von *aa.* und *bb.* bestimmt werden konnte. Wohl aber ist das Tonverhältniss dieser Schwingungsarten zu den entsprechenden einer ganz freien Scheibe, wovon oben S. 336. bei *cc.* 1. die Rede war, von Chladni erforscht. Der tiefste Ton einer so schwingenden an einem schmalen Ende festen Scheibe ist um eine Octave tiefer als der tiefste Ton, welchen bei dergleichen Schwingungen eine ganz freie Scheibe hervorbringt. Bei jenem geht nur eine Knotenlinie der Länge nach, bei diesem dagegen wird die eben so laufende Knotenlinie von einer Querlinie genau in der Mitte der Scheibe durchschnitten. Jeder dieser beiden tiefsten Töne bildet den Anfang einer Reihe, deren Töne, jede Reihe für sich betrachtet, sich wie die natürliche Zahlenreihe 1, 2, 3, 4 u. s. w. zu einander verhalten; stellt man aber beide Reihen nach ihrem gegenseitigen Verhältnisse zusammen, so verhalten sich die Töne der in diese Rubrik gehörenden Reihe, wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w., die der andern Reihe, welche der S. 336. besprochenen Rubrik *cc.* 1. angehört, wie die geraden Zahlen 2, 4, 6, 8 u. s. w. Zur Hervorbringung dieser Schwingungsarten berühre man eine Querlinie und streiche an einer Stelle *einer langen Seite zwischen* 2 *Enden von Querlinien oder an einer Ecke des freien Endes* ([91]).

2) oder *zwei* oder *mehrere* Knotenlinien gehen der *Länge* nach, und werden von einer oder mehreren Querlinien durchschnitten ([92]). Über die Töne, welche sich in diesen Fällen ergeben, findet man bei Chladni keine Angabe.

---

91) *Chladni*: Akustik S. 128 f. 92) Ebend. S. 129.

b) *Schwingungsarten eines an beiden schmalen Seiten angestemmten ungleichseitigen Rechtecks.*

Von diesen gilt dasselbe, was bei b. gesagt worden. Denn Regelmässigkeit der Klangfiguren und Hervorbringung eines Klanges werden durch diese Haltung bedeutend erschwert ([93]).

c) *Schwingungsarten eines an beiden schmalen Seiten befestigten ungleichseitigen Rechtecks.*

Eine solche Scheibe kann, wie die nur an einem solchen Ende befestigte, auch *ohne Knotenlinie* schwingen, eben so wie ein an beiden Enden fester Stab ohne Knotenlinie zu schwingen vermag. Bei dieser einfachsten Schwingungsart gibt sie den tiefsten Ton der bei dieser Haltungsweise möglichen Töne. Bilden sich dagegen Knotenlinien, so treten von Seiten ihrer Richtung 3 Fälle ein:

aa) *eine oder mehrere Knotenlinien gehen nur mit dem Durchmesser der Breite parallel.* Diese Schwingungsarten bilden in Verbindung mit jener einfachsten Schwingungsart eine Reihe, die sowohl von Seiten der Zahl und Lage der Knotenlinien, als auch von Seiten des Tonverhältnisses ganz der eines an beiden Enden befestigten Stabes entspricht, so dass von ihnen dasselbe gilt, was oben S. 161. über die Schwingungen eines solchen Stabes angeführt worden. Diese Schwingungsarten sammt jener einfachsten lassen sich aber nur selten und mit vieler Mühe hervorbringen, weil die Scheibe bei dieser Befestigung nicht an einer schmalen, sondern nur an einer langen Seite gestrichen werden kann, wobei statt jener weit leichter die gleich zu erwähnenden Schwingungsarten sich bilden ([94]).

---

93) *Chladni:* Akustik S. 130. 94) Ebend. S. 130.

bb) *Eine* oder, wenn es die Breite der Scheibe zulässt, *mehrere Knotenlinien gehen nur mit dem Durchmesser der Länge parallel.* Diejenige Schwingungsart, wo sich nur Eine solche Knotenlinie zeigt, macht, als die einfachste, den Anfang einer Reihe von Schwingungsarten, deren zweite, dritte u. s. w. die sind, welche sogleich in der ersten Abtheilung der folgenden Rubrik cc. näher bezeichnet werden ([95]).

cc) *Eine oder mehrere Knotenlinien laufen mit den Durchmessern beider Richtungen parallel,* oder können doch als parallel mit ihnen betrachtet werden ([96]). Wir unterscheiden, wie oben, folgende 2 Fälle:

1) Nur *eine* Knotenlinie geht der *Länge* nach, und wird von einer oder mehrern Querlinien durchschnitten. Diese Schwingungsarten bilden in Verbindung mit der bei bb., wo nur Eine Knotenlinie vorhanden ist, eine Reihe, deren Töne, falls die Scheibe schmal ist, mit den Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w. übereinkommen, und ganz eben dieselben sind, als ob die Scheibe ganz frei wäre ([97]). So wie aber diese Verhältnisszahlen den Tönen dieser Schwingungsarten einer ganz freien, einer an der einen schmalen Seite festen, und einer an beiden schmalen Seiten befestigten Scheibe gemeinschaftlich zukommen, so gilt auch von eben diesen Tönen solcher Schwingungsarten bei allen 3 Haltungsweisen, dass sie sich im Allgemeinen wie die Grössen der schwingenden Theile verhalten, vorausgesetzt, dass man bei einer ganz freien oder an einer schmalen Seite befestigten Scheibe die zwischen 2 Kno-

---

95) *Chladni*: Akustik S. 130. 96) Es treten nämlich auch hier sehr oft Verzerrungen der Linien ein (*Chladni* ebend. und Tab. III. Fig. 62. a. b. c.), wodurch aber die Bestimmung, welcher Richtung sie angehören, nicht geändert werden darf, indem man bei der Entscheidung dieser Frage stets an die ursprüngliche Gestalt sich halten muss, als deren blosse Umänderungen sie sich kund geben. 97) *Chladni* ebend. S. 130.

tenlinien oder einer Knotenlinie und dem befestigten Ende liegenden Theile, weil sie ungefähr doppelt so gross sind, wie ein an einem freien Ende liegender, auch für 2 Theile rechne, oder, was auf dasselbe hinausläuft, dass man, so bald von Vergleichung der Töne und der Länge der schwingenden Theile die Rede ist, nur einen an einem freien Ende liegenden Theil zum Maassstabe wähle. Bei einer an beiden schmalen Seiten befestigten Scheibe aber bedarf es einer solchen Erinnerung nicht, da hier alle durch Knotenlinien gebildeten Theile gleiche Länge haben (98).

2) *Zwei oder mehrere* Knotenlinien gehen der *Länge* nach, und werden von Querlinien durchschnitten. Über die Töne dieser Schwingungsarten findet man bei Chladni S. 130. eben so wenig, wie über die bei c. cc. 2. eine nähere Andeutung.

Über die Tonverhältnisse anderer vierseitigen Scheiben, als die bisher betrachteten sind, findet sich bei Chladni keine Angabe; nur die Ähnlichkeit der Klangfiguren einer gewissen Art von Trapezien mit denen eines gleichseitigen Dreiecks erwähnt er (99).

Nach dieser Erläuterung *vierseitiger* Scheiben betrachten wir

β) *dreiseitige.*

Chladni hat bei diesen namentlich die Tonverhältnisse *gleichseitiger* (100) untersucht. Da sich aber die bei diesen Tönen erscheinenden Klangfiguren nicht so wie die bisherigen andeuten lassen, so bemerke ich bloss, dass der Ton bei der einfachsten Klangfigur am tiefsten ist, und, je mannichfaltiger ihre Linien werden, desto mehr sich erhöht,

---

98) *Chladni*: Akustik S. 129. und Tab. IX. Fig. 219—243. 99) Ebend. S. 191. 100) Ebend. S. 189—191.

und dass auch hier die durch diese Figuren versichtbarten Schwingungsarten nicht bloss quantitativ durch ihre Tonhöhe, sondern auch qualitativ sich unterscheiden, da wenigstens manche sehr rauh klingen. In Betreff der *ungleichseitigen rechtwinkeligen* ([101]) sagt er nur, dass, wie sie selbst als die Hälften gleichseitiger Dreiecke betrachtet werden können, so auch ihre Klangfiguren sich als Hälften derer zeigen, welche auf solchen gleichseitigen erscheinen.

γ) sechsseitige.

Bei diesen Scheiben hat sich Chladni auf die Untersuchung der *gleichseitigen* beschränkt. Die Linien der auf ihnen hervorgebrachten Klangfiguren sind theils durchgehende gerade Linien, die von einer Seite oder Ecke zu der entgegengesetzten laufen, theils kreisförmige, theils runde Linien anderer Art, die, nach Chladni's Vermuthung, aus einer jener beiden Arten verzerrt sind. Da es indess bei mehrern Linien dieser letzten Art sehr unsicher ist, ob und auf welche jener beiden erstern Linienarten sie zurückzuführen sind, so unterlasse ich es, die Angaben Chladni's ([102]) hier tabellarisch zusammenzustellen, und hebe deshalb bloss folgende Punkte heraus:

1) Eine solche Scheibe gibt ihren tiefsten Ton, wenn ihre Klangfigur aus 2 rechtwinkelig sich durchkreuzenden Linien besteht; einen um so höhern aber, je mannichfaltiger ihre Knotenlinien sind.

2) Es hat Einfluss auf den Ton, ob gerade Linien von einer *Ecke* zur entgegengesetzten oder von einem *andern Theile* einer Seite zum entsprechenden der entgegengesetzten laufen. Im letztern Falle ist meistens der Ton tiefer.

3) Die Töne der Schwingungsarten, wo bloss durchgehende Linien oder bloss Kreise vorhanden sind, schei-

101) *Chladni*: Akustik S. 191. 102) Ebend. S. 185—187.

nen sich unter einander wie die Quadrate ihrer Zahlen zu verhalten.

Von diesen *geradlinigen* Scheiben gehen wir über zur Betrachtung

bb) der *krummlinigen.*

α) der *kreisrunden.*

Mit diesen beginnen wir, weil sie die einfachste Form der krummlinigen sind. Wie bei den vierseitigen Scheiben Strehlke's Beobachtungen denen Chladni's sich zur Seite stellten, so treten hier neben denen des Letztern die Untersuchungen von Savart ([103]) und Poisson ([104]) auf, die wir im Folgenden berücksichtigen müssen. — Wir unterscheiden auch hier zuvörderst die verschiedenen Haltungsweisen, weil sie einflussreich auf die Schwingungen sind.

a) *Schwingungsarten einer an allen Seiten freien kreisrunden Scheibe.*

In Betreff der Haltung einer solchen ganz freien Scheibe gilt zuvörderst Alles, was oben über die Haltung einer ganz freien Quadratscheibe bemerkt worden ist. Bei dem dort bezeichneten Verfahren ist eine Scheibe jedoch nur *an ihren Seiten oder Enden* ganz frei, aber nicht *in ihrem ganzen Umfange*; dieses Letztere aber lässt sich bei einer kreisrunden erreichen, wenn man sie auf die oben S. 305 f. angegebene Weise durch einen Luftstrom in Schwingung

---

103) Ich meine hier namentlich seine »Untersuchung über die Elasticität der regelmässig krystallisirten Körper«, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 206 ff., und seine »Untersuchungen über das Gefüge der Metalle«, ebend. S. 248 ff.

104) In seiner grössern Abh.: Sur l'équilibre et le mouvement des élastiques in den Mém. de l'Acad. VIII. pag. 357 sqq., worin er die Aufgabe gelöst hat, die Klangfiguren, welche sich auf biegsamen Membranen und starren Scheiben oder Platten bilden, durch Gleichungen auszudrücken und ihren Zusammenhang mit den dabei entstehenden Tönen anzugeben. In Betreff der starren Scheiben hat er diese Aufgabe bis jetzt nur in Bezug auf solche kreisrunde gelöst, die nach allen Richtungen gleiche Elasticität haben. S. *Fechner*: Repert. I. S. 295. Vgl. auch die Übers. seiner kleinern, in den Annal. de chimie et de phys. XXXVII. pag. 337 sqq. enthaltenen Abhandl., die denselben Titel wie jene grössere führt, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 13. (89.) S. 383 ff., namentlich S. 397 ff.

versetzt, weil sie hierbei *in ihrer ganzen Ausdehnung vollkommen frei* in der Luft horizontal schwebt ([105]).

Ausser der verschiedenen Art, die Scheibe zu halten, ist für deren Schwingungen sehr wichtig, *von welcher Stelle aus dieselben erregt werden*, ob nämlich

1) von einer *Stelle des Randes* aus, welche man senkrecht mit dem Violinbogen streicht ([106]); oder

2) von der *Mitte* der Scheibe aus, entweder durch einen hier senkrecht aufgesetzten dünnen, der Länge nach mit benetzten Fingern geriebenen Glasstab, oder durch einen gegen die Mitte gerichteten Luftstrom. Bei dieser letztern Erregungsweise können zwar ausser den kreisrunden Knotenlinien mannichfaltige andere, aber keine diametrale Linien entstehen, so wie auch kein unbeweglicher Punkt in der Mitte der Scheibe vorhanden sein kann ([107]).

Bei den nun zu erläuternden Schwingungsarten solcher Scheiben müssen wir, um nicht die beobachteten Erscheinungen zu verwirren, zweierlei Arten kreisrunder Scheiben genau unterscheiden: *homogene*, d. h. solche, die nach allen Richtungen gleich elastisch sind, und *heterogene*, d. h. solche, die nicht nach allen Richtungen gleiche Elasticität haben.

aa) *Schwingungsarten einer an allen Seiten freien homogenen kreisrunden Scheibe.*

Die auf ihnen bei den verschiedenen Schwingungsarten erscheinenden Klangfiguren sind von Seiten ihrer Knotenlinien von dreierlei Art:

1) sie bestehen bloss aus Linien, die von einer Stelle des Randes zur andern in geraden oder krummen Richtungen gehen. Sind sie gerade oder durchschneiden sie sich in der Mitte der Scheibe, so erscheinen sternförmige

105) S. *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 10. (86.) S. 291. 106) *Chladni* S. 157. u. a. 107) *Savart* a. a. O. S. 290.

Klangfiguren; die Linien können aber auch ihre Lage verändern, sich krümmen und auf mannichfaltige Art trennen und verbinden, ohne dass dadurch die Zahl derselben oder das Tonverhältniss verändert wird, gleich wie dasselbe bei den Klangfiguren der Rechtecke die Erfahrung gelehrt hat. Da die meisten dieser Linien durch den Mittelpunkt gehen, so nennen wir diese ganze Classe mit Chladni *durchgehende Linien.*

2) Sie bestehen bloss aus *Kreisen*, die bisweilen als concentrische Zirkel, meistens aber so sich darstellen, dass die äussern eine gewisse Anzahl von Biegungen annehmen, der innere aber einer Ellipse ähnlich ist.

3) Sie enthalten beiderlei Knotenlinien ([108]).

Anmerkung. Es muss hier, als für die folgenden Angaben wichtig, erwähnt werden, dass Poisson bei den Klangfiguren kreisrunder Scheiben *nur von kreisförmigen Knotenlinien* redet (s. Fechner: Repert. I. S. 286 f. 296 f.). Ich kann mir dieses nur etwa daraus erklären, dass er vielleicht bloss auf diejenigen Klangfiguren Rücksicht nahm, welche am häufigsten entstehen, wenn die Schwingungen auf die zuvor angegebene Weise von der Mitte der Scheibe aus erregt werden.

Wie sich die Töne der verschiedenen Schwingungsarten zu einander verhalten, zeigt folgende aus Chladni's Akustik S. 164. entlehnte Tabelle, in welcher die obenan stehende horizontale Zahlenreihe die *durchgehenden Linien*, die zur Linken befindliche senkrechte, aus römischen Zahlen bestehende die *Kreise* der Klangfiguren anzeigt, welche bei jenen Schwingungsarten sich bilden.

---

108) *Chladni* S. 156 f. 159. — *Savart* (in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 208.) bemerkt über die Theilungsarten kreisrunder Scheiben Folgendes: Kreisrunde Scheiben, welche transversale Schwingungen machen, sind mehrerer Theilungsarten fähig. Bald theilen sie sich in eine mehr oder weniger beträchtliche, jedoch immer gerade, Anzahl gleich grosser Sectoren, die ihre Schwingungen in gleicher Zeit vollbringen, und durch diametrale Knotenlinien getrennt sind; bald aber in eine mehr oder weniger grosse Anzahl concentrischer, durch kreisrunde Knotenlinien geschiedener Zonen; und diese beiden Theilungsarten können sich mit einander combiniren, so dass die daraus hervorgehenden Klangfiguren als Kreise erscheinen, getheilt durch diametrale Knotenlinien in gleiche Theile.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0			C (2)	d (3)	$\overline{c}$ (4)	$\overline{g}$. $\overline{gis}$ (5)	$\overline{\overline{cis}}$ (6)	$\overline{\overline{fis}}$ (7)	$\overline{\overline{b}}$ (8)
I	Gis 2	b 3	$\overline{g}$ 4 —	$\overline{\overline{d}}$. $\overline{\overline{dis}}$ 5 —	$\overline{\overline{gis}}$ 6 —	$\overline{\overline{\overline{cis}}}$ 7 — —	$\overline{\overline{\overline{e}}}$. $\overline{\overline{\overline{f}}}$. 8 — —	$\overline{\overline{\overline{g}}}$ 9 — —	
II	$\overline{gis}$ + 4 +	$\overline{\overline{e}}$ + 5 +	$\overline{\overline{b}}$ 6	$\overline{\overline{\overline{dis}}}$ 7 —	$\overline{\overline{\overline{g}}}$ 8 —	$\overline{\overline{\overline{b}}}$. $\overline{\overline{\overline{h}}}$ 9 —	$\overline{\overline{\overline{\overline{cis}}}}$ 10 — —	$\overline{\overline{\overline{\overline{dis}}}}$ 11 — —	
III	$\overline{\overline{b}}$. $\overline{\overline{h}}$ 6 +	$\overline{\overline{\overline{e}}}$ + 7 +	$\overline{\overline{\overline{gis}}}$. $\overline{\overline{\overline{a}}}$ 8 +	$\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$ 9	$\overline{\overline{\overline{\overline{dis}}}}$ 10 —	$\overline{\overline{\overline{\overline{fis}}}}$ 11 —	$\overline{\overline{\overline{\overline{gis}}}}$ + 12 —	$\overline{\overline{\overline{\overline{b}}}}$ 13 — —	
IV	$\overline{\overline{\overline{a}}}$ 8 + +	$\overline{\overline{\overline{\overline{cis}}}}$ 9 +	$\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}$ — 10 +	$\overline{\overline{\overline{\overline{g}}}}$. $\overline{\overline{\overline{\overline{gis}}}}$ 11 +	$\overline{\overline{\overline{\overline{b}}}}$ 12	$\overline{\overline{\overline{\overline{h}}}}$. $\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}$ 13 —	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{cis}}}}}$ 14 —		
V	$\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}$ 10 + +	$\overline{\overline{\overline{\overline{gis}}}}$ 11 + +	$\overline{\overline{\overline{\overline{h}}}}$ 12 +	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{cis}}}}}$ 13 +					
VI	$\overline{\overline{\overline{\overline{h}}}}$ 12 + +	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{d}}}}}$ 13 + +	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{e}}}}}$ 14 + +	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}}$ + 15 +					
VII	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{e}}}}}$ 14 + +								

Zur weitern Erläuterung fügen wir folgende Bemerkungen bei:

1) Dieser von **Chladni** aufgestellten Tabelle zufolge gibt eine solche Scheibe ihren *tiefsten Ton*, wenn bloss 2 durchgehende Linien sich bilden, so dass diese Schwingungsart ihre einfachste ist. Denn die andere Schwingungsart, welche man etwa dafür zu halten versucht werden könnte, nämlich die, wo bloss Ein Kreis sich bildet, bringt einen Ton hervor, der um eine übermässige Quinte höher ist, als der Ton der erstern. — Ein den Tonzeichen beigesetztes (+) deutet, wie gewöhnlich, an, dass der Ton ein wenig höher, und ein (—), dass er ein wenig tiefer sei als der dem Tonzeichen genau entsprechende Ton; ein

doppeltes (+) zeigt an, dass er noch etwas höher, und ein doppeltes (—), dass er noch etwas tiefer sei, als da, wo ein einfaches (+) oder (—) hinzugefügt ist.

Anmerkung. Nach **Savart** hat (wie **Biot** II. S. 65. berichtet) jener Ton, der nach **Chladni** der tiefste ist, noch 2 tiefere unter sich, bei deren einem die Scheibe durch eine einzige diametrale Knotenlinie, die unbestimmt jede Richtung haben kann, in 2 Halbkreise sich scheidet, während bei dem andern, noch tiefern, nur ein einziger, in der Mitte der Scheibe gelegener, Schwingungsknoten sich bildet, in welchem der Sand sich anhäuft. Denkbar wäre indess, wie **Biot** hinzufügt, dass dieser letztere Ton von der Gegenwirkung des Stäbchens herrührte, an welchem die Scheibe gehalten wird, und dass die Schwingungsart, welche ihn gibt, dem ganzen System aus Stäbchen und Scheibe, nicht aber letzterer allein angehörte (vgl. § 26.). — Da **Poisson**, wie zuvor erwähnt ist, nur kreisförmige Knotenlinien bei diesen Scheiben annimmt, so hält er, darnach ganz folgerecht, denjenigen Ton für den Grundton dieser Scheiben, wobei sich eine Kreislinie bildet; für den zweiten Ton den, bei welchem 2 Kreislinien; für den dritten den, wobei 3 solche Linien entstehen, und so fort, so dass überhaupt jedem so fortgezählten Tone eine der Zahl des Tones gleiche Zahl von Kreislinien (oder, wie er sich ausdrückt, dem *n*ten Tone *n* kreisförmige Knotenlinien) entsprechen. Demnach ist auch, wenn er sagt, der Grundton einer am Rande ganz freien Kreisscheibe verhalte sich zu ihrem zweiten Tone = 1 : 4,316 (s. **Fechner's** Repert. I. S. 285. — **Poggendorff's** Annal. Bd. 13. (89.) S. 398.), diese Angabe nicht auf die beiden tiefsten Töne der obigen Tabelle C und Gis, sondern auf die beiden ersten der mit 0 überschriebenen senkrechten Reihe der Tabelle, Gis und $\overline{\text{gis}}$+ zu beziehen, bei deren ersterem Ein, beim letztern 2 Kreise sich bilden. Die Verhältnisszahl 4,316 ist indess für $\overline{\text{gis}}$+ etwas zu gross. **Savart** dagegen hat, wie **Poisson** selbst anführt (s. **Poggendorff's** Annal. Bd. 13. (89.) S. 398.), für dieses Verhältniss eine Zahl erhalten, die zwar etwas grösser ist als 4, aber um einen merklich kleinern Bruch als jener ist. Wir dürfen daher **Savart's** Verhältnisszahl mit dem von **Chladni** bezeichneten Tone als einstimmig betrachten. — Aus diesem Allem ersieht man, dass in Betreff der einfachsten Schwingungsart einer homogenen, am Rande ganz

freien Kreisscheibe, und deshalb auch in Betreff ihres tiefsten Tones dreierlei Ansichten Statt finden, unter denen Chladni's Ansicht, von Seiten des Tones, die mittlere ist.

2) Die unter den Tonzeichen stehenden *Zahlen*, die ich in diese Tabelle zugleich mit aufgenommen habe, während sie Chladni S. 165. in einer besondern Tabelle aufgestellt hat, sind die, mit deren Quadraten die Tonverhältnisse ungefähr übereinkommen. Die ihnen beigesetzten Zeichen (+) oder (—) deuten an, dass die den dabei stehenden Tönen entsprechenden Zahlen etwas grösser oder kleiner sind als die Quadrate der hier genannten Zahlen. Die Verdoppelung eines solchen Zeichens bedeutet eine Steigerung des einen oder des andern Falles. Demnach erhellet aus jener Tabelle, dass, wenn bei einerlei Zahl der Kreise die Zahl der durchgehenden Linien sich vergrössert, jedes Intervall etwas kleiner, wenn dagegen bei einerlei Zahl der durchgehenden Linien die Zahl der Kreise sich vergrössert, jedes Intervall etwas grösser ist, als die Verhältnisse der Quadrate dieser Zahlen. Die oberste horizontale Reihe von Tönen, welche bei den Schwingungsarten Statt findet, wo nur durchgehende Linien, aber keine Kreise sich bilden, kommt unter sich (jedoch mit einiger Verminderung der Intervalle) mit den Quadraten von 2, 3, 4, 5 u. s. w. überein, passt aber gar nicht in die übrigen Tonfolgen. Aus diesem Grunde sind sie eingeklammert.

3) Endlich erwähne ich noch Poisson's Berechnung der Radien der verschiedenen kreisförmigen Knotenlinien, oder, mit andern Worten, die ihres Abstandes vom Mittelpunkte der Scheibe. Bildet sich nur Ein Kreis, so ist dieser bei einer am Rande ganz freien Scheibe um 0,6806 des Radius der Scheibe von ihrem Mittelpunkte entfernt; bilden sich 2 Kreise, so ist der innere um 0,3915, der äussere um 0,835 jenes Radius

vom Mittelpunkte entfernt ([109]). Diese Abstände sind aber nicht auf allen Scheiben dieselben, wie Savart's Versuche ([110]) zeigen. Dieser mass die Radien der kreisförmigen Knotenlinien auf 3 kreisrunden Kupferscheiben von verschiedenen Dimensionen, deren Ränder ganz frei waren. Bei der Schwingungsart, wo nur Ein Kreis entstand, erhielt er auf diesen 3 Scheiben:

0,6819; 0,6798; 0,6812

als Verhältniss zwischen dem Radius der einzigen kreisförmigen Knotenlinie zu dem Radius der Scheibe, oder, mit andern Worten, als Abstände des Kreises vom Mittelpunkte der einzelnen Scheiben. Bei der Schwingungsart, wo 2 Kreise sich bildeten, erhielt er für den innern dieser beiden Kreise folgende Abstände vom Mittelpunkte:

0,3855; 0,3876; 0,3836;

für den äussern Kreis:

0,8410; 0,8427; 0,8406.

bb) *Schwingungsarten einer an allen Seiten freien heterogenen kreisrunden Scheibe.*

Hierüber hat bis jetzt nur Savart ([111]) Untersuchungen angestellt, aus denen daher das Folgende geschöpft ist. Wenn die Scheibe, welche man schwingen lässt, völlig homogen, kreisrund und überall gleich dick ist, so kann das System der diametralen Linien, falls es erscheint, jede mögliche Richtung haben, d. h. seine Lage wird allein dadurch bedingt, welchen Punkt am Umfang der Scheibe man zum Erschütterungspunkte genommen hat, indem der unmittelbar erschütterte Punkt immer in der Mitte eines schwingenden Stückes liegt ([112]). Entstehen dagegen Kreise,

---

109) S. *Fechner's* Repert. I. S. 286. und *Poggendorff's* Annal. Bd. 13. (89.) S. 398.
110) *Fechner* a. a. O. S. 297. — *Poggendorff's* Annal. a. a. O. S. 398. 111) S. seine in d. Note 101. genannten Abhandlungen. 112) Daher gibt *Chladni* S. 157. zur Hervorbringung der einfachsten Schwingungsart einer kreisrunden Scheibe, nämlich derjenigen,

so müssen dieselben unter den vorausgesetzten Bedingungen genau concentrisch mit dem Umkreise der Scheibe sein. Diese Resultate sind eine nothwendige Folge der Symmetrie, welche man in der Gestalt und Structur der Scheibe vorausgesetzt hat. Eine Störung dieser Symmetrie kann bewirken:

1) dass die Stellung einer aus diametralen Knotenlinien bestehenden Klangfigur nicht mehr bloss von der Lage des Erschütterungspunktes abhängt;
2) dass statt diametraler Linien Curven, und statt der Kreislinien Ellipsen oder anders gestaltete runde Linien erscheinen.

Bei Scheiben, die man als *homogen* annimmt, kann man dergleichen Erscheinungen nur von einer gestörten Symmetrie der Form, nämlich von einer ungleichmässigen Dicke und unvollkommenen Rundung herleiten. Nimmt man dagegen an, die Scheibe sei völlig kreisrund und überall gleich dick, besitze aber in ihrer Ebene nicht in allen Richtungen einen gleichen Grad von Elasticität, sie sei folglich *heterogen*, so hat man die erwähnten Erscheinungen nur aus dieser Ungleichartigkeit der Structur zu erklären.

Hier fragt man natürlich zuerst: welche *Scheiben* sind *homogen*, welche *heterogen*? Die Beantwortung dieser Frage setzt eine andere voraus: welche *Körper* sind *homogen*, welche *heterogen*? Beide Fragen aber sind, wie man aus dem Folgenden erkennen wird, keineswegs identisch.

Was zunächst die letztere Frage betrifft, so haben Savart's Untersuchungen gezeigt, dass *fast alle starre Körper heterogen* sind ([113]), d. h. nicht nach allen Richtun-

---

wo 2 diametrale Linien sich rechtwinkelig durchschneiden, die Anweisung, die Scheibe in der Mitte zu halten, und, wenn man die Lage der einen Knotenlinie genauer bestimmen wolle, noch irgend eine Stelle zu berühren, auf welche diese Linie fallen solle, und an einer Stelle des Randes, die ungefähr 45° von der Richtung dieser Linie entfernt sei, zu streichen. 113) Nachdem *Savart* (in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 211 f.) erklärt hat, dass er bis jetzt noch keinen Körper gefunden, dessen

gen gleiche Elasticität zeigen. Durch die bisherigen Versuche hat er gefunden, dass es

a) Körper gebe, welche *nach zwei auf einander senkrechten Richtungen verschiedene Elasticität* oder, mit andern Worten, *zwei auf einander senkrechte Elasticitätsaxen* haben. Dieses ist der Fall bei einem knotenfreien Baumzweige, da er aus cylindrischen und concentrischen Schichten von abwechselnd verschiedener Natur besteht. Denn in der Ebene einer Scheibe, die aus einem solchen Cylinder senkrecht gegen seine Axe geschnitten ist, wird die Elasticität beinahe gleich nach allen Richtungen sein, dagegen sehr abweichen von der, welche man parallel der Axe beobachtet ([114]).

b) Körper, welche *nach drei, auf einander senkrechten Richtungen verschiedene Elasticität* haben, folglich *drei verschiedene, auf einander senkrechte Elasticitätsaxen* besitzen, welche nach ihrer verschiedenen Intensität durch die Beiwörter: *grösste, mittlere, kleinste* unterschieden werden. Um das Verhältniss des Beugungswiderstandes parallel diesen 3 Elasticitätsaxen zu bestimmen, bedient man sich folgendes Mittels. Man schneidet aus einem Körper dieser Art nach jeder dieser 3 Richtungen einen kleinen parallelepipedischen Stab von gleichen Dimensionen, und versetzt denselben in Transversalschwingungen. Durch die Anzahl der Schwingungen, welche diese Stäbe bei einer

---

Elasticität nach allen Richtungen dieselbe gewesen wäre, fügt er S. 258. hinzu: »Es steht zu vermuthen, dass man bei fast allen starren Substanzen eine Heterogenität in der Structur entdecken werde, und vielleicht machen nur die Gebilde aus pulverförmigen Substanzen eine Ausnahme, wie z. B. die Kreide, die sich sehr einer völligen Homogenität nähert. Unter den bis jetzt von mir untersuchten Körpern habe ich nur einen, nämlich das Siegellack, gefunden, bei welchem sich das aus einem rechtwinkeligen Linienkreuze bestehende System unterschiedslos in jede Richtung begeben konnte. Da aber das Siegellack nur ein blosses Gemenge von Gummilack, Terpentin und Zinnober ist, so begreift man, dass dieser letztere Körper, welcher pulverförmig ist, die regelmässige Anordnung der Harztheilchen verhindert haben muss.« 114) *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 212.

und derselben Theilungsart vollführen, kann man den Grad ihrer Elasticität auffinden, da sich bekanntlich bei einer transversalen Bewegung die Anzahl der Schwingungen wie die Quadratwurzel des Beugungswiderstandes, oder, was dasselbe ist, der Beugungswiderstand sich wie das Quadrat der Schwingungsanzahl verhält ([115]). — Zu den Körpern, welche 3 Elasticitätsaxen haben, gehört 1) abermals das Holz, nur mit dem Unterschiede von dem obigen Falle, dass dort von dem Holze eines knotenfreien Baumzweiges, hier von dem eines Stammes von sehr grossem Durchmesser die Rede ist. Bei dem letztern ist die Elasticität verschieden nach den 3 Richtungen: parallel den Holzfasern, parallel dem Durchmesser des Stammes und senkrecht auf beiden ([116]); 2) der Bergkrystall ([117]); 3) der Kalkspath; 4) der Eisenspath ([118]). — Gegossene Metalle betrachtet man zwar gewöhnlich als beinahe homogene Körper, als Haufwerke einer Unzahl ordnungslos und gleichsam zufällig zusammengefügter kleiner Krystalle; allein in jeder Metallmasse können, wie Savart gezeigt hat ([119]), eben so grosse, vielleicht noch grössere Elasticitäts- und Cohäsionsunterschiede, als in einem faserigen Körper, wie das Holz, vorhanden sein; sie sind daher nur als halbregelmässige Kör-

---

115) *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 217. 244. 256. 116) Ebend. S. 212. In Betreff der Rechtwinkeligkeit der 3 Elasticitätsaxen muss indess hier erwähnt werden, dass man zwar im Allgemeinen eine solche dem Holze zuschreibt, dass aber bei diesem jene 3 Axen nicht in aller Strenge gegen einander rechtwinkelig sind, s. ebend. S. 225. 117) Bei diesem finden zwar ebenfalls dreierlei Elasticitätsaxen Statt, aber sie stehen nicht alle 3 senkrecht auf einander. Die Axe der kleinsten Elasticität steht senkrecht auf der mittleren Elasticitätsaxe, mit der grössten Elasticitätsaxe aber bildet sie einen Winkel von 57° 40′ 13″, weil dieses die Neigung der Rhomboëderfläche gegen die Diagonalfläche ist. In der erstern Fläche sind die Axen der grössten und der mittleren Elasticität, senkrecht auf einander stehend, enthalten; in der letztern Fläche befinden sich die Axen der mittlern und der kleinsten Elasticität, ebenfalls senkrecht auf einander, s. ebend. S. 242 f. 118) Diese beiden scheinen hinsichtlich ihrer Elasticität im Allgemeinen dem Bergkrystall analog zu sein; man erkennt auch in ihnen 3 Elasticitätsaxen, s. ebend. S. 244. 119) Ebend. S. 248 ff.

per zu betrachten ([120]). Ähnliche Erscheinungen, wie die bei den Metallen beobachteten, findet man auch beim Glase ([121]), Schwefel, beim gemeinen Harze, beim Kopal, Bernstein, Gyps, Tafelschiefer u. s. w. ([122]).

Jetzt erst kann die Beantwortung der erstern Frage: welche *Scheiben* sind *homogen*, welche *heterogen*? versucht werden. *Homogen* sind

1) *alle Scheiben*, welche aus *homogenen Körpern* geschnitten oder auf irgend eine andere Weise, wodurch die Homogenität derselben keine Änderung erlitt, daraus gebildet sind.

2) *Diejenigen Scheiben*, welche aus *heterogenen Körpern, die zwei verschiedene auf einander senkrechte Elasticitätsaxen haben, senkrecht gegen die Axe dieser Körper* geschnitten sind (s. S. 353. a.) ([123]). In einer solchen Scheibe ist rings um den Mittelpunkt Alles symmetrisch. Daher kann die aus 2 sich rechtwinkelig schneidenden Linien bestehende Theilung jede mögliche Richtung annehmen, jenachdem dieser oder jener

---

120) Da nämlich die angestellten Versuche deutlich beweisen, dass die Metalle keine homogene Structur besitzen, aber auch eben so wenig regelmässig krystallisirt sind, so bleibt, wie *Savart* (in *Poggendorff's* Annal. a. a. O. S. 251. vgl. S. 253.) sagt, nur die Annahme zu machen, dass sie eine halbregelmässige Structur besitzen, gleich als wenn sich im Moment des Erstarrens in ihrem Innern mehrere besondere Krystalle von ziemlich beträchtlichem Volumen bildeten, deren homologe Flächen aber nicht denselben Punkten im Raume zugewandt wären. Nach dieser Vorstellung würden die Metalle gleichsam Gruppen von Krystallen sein, von denen jeder einzelne eine regelmässige Structur besitzt, während die ganze Masse durchaus verworren erscheint.

121) Ebend. S. 258. — Demzufolge würden wir auch *Chladni's* an Glasscheiben gemachte Beobachtungen, streng genommen, nicht, wie zuvor geschehen, unter die Rubrik der Schwingungsarten *homogener* Scheiben haben bringen dürfen. Da aber bis jetzt dergleichen Beobachtungen an völlig homogenen Scheiben mangeln, mit Ausnahme der von *Savart* beobachteten Schwingungsart, wo 2 sich einander senkrecht schneidende Diametrallinien entstehen; ferner auch von Andern, z. B. *Chladni* und *Biot* (vgl. Bd. II. S. 64.) dergleichen Scheiben für homogene angesehen und die auf ihnen sich zeigenden Abweichungen von der regelmässigen Gestalt der Knotenlinien einer Ungleichmässigkeit der Dicke, oder einer unpassenden Haltung u. dergl. zugeschrieben werden, so wird man es nicht tadeln, dass, um doch wirkliche Beobachtungen und nicht blosse Berechnungen möglicher Schwingungsarten anzuführen, die Klangfiguren der Glasscheiben als Beispiele von Figuren homogener Scheiben aufgestellt sind.

122) Ebend. S. 258.

123) Ebend. S. 212 f.

Punkt des Umkreises erschüttert worden ist, wie Savart's Versuche dargethan haben.

3) *Diejenigen Metallscheiben, welche man so gegossen hat, dass man der Form, während das Metall erstarrte, eine Reihe kleiner Stösse ertheilte.* Durch diese Stösse wird fast immer die Bildung der krystallinischen Systeme gehindert, und eine so grosse Gleichförmigkeit in der Elasticität herbeigeführt, dass die Scheiben nur einen einzigen Ton geben, und das aus einem rechtwinkeligen Linienkreuze bestehende Knotensystem keine bestimmte Lage mehr einnimmt ([124]).

Heterogen sind

1) *alle Scheiben*, welche aus *heterogenen Körpern, welche drei verschiedene, auf einander senkrechte Elasticitätsaxen haben*, geschnitten sind;

2) *diejenigen Scheiben*, welche aus *heterogenen Körpern, die zwei verschiedene, auf einander senkrechte Elasticitätsaxen haben, nicht senkrecht gegen ihre Axe, sondern in irgend einer andern Richtung* geschnitten sind;

3) alle *metallene Scheiben*, sie mögen in Formen gegossen, von grossen Massen abgenommen, oder aus gewalzten Blechen geschnitten sein ([125]), mit Ausnahme der kurz zuvor bezeichneten; so wie auch Scheiben aus andern oben genannten Substanzen.

Wie sich die *heterogenen* Scheiben in ihren Schwingungen von den *homogenen* unterscheiden, hat Savart an

---

124) *Savart* in *Poggendorff's* Annal. a. a. O. S. 254 f. Merkwürdig ist, dass es dagegen durchaus ohne Einfluss auf den Elasticitätszustand der Metallscheiben zu sein scheint, aus welcher Substanz die Form, in die man sie gegossen hat, besteht; ob der Strahl in der Mitte oder am Rande eingegossen ist; ob die Form wagerecht, schief oder senkrecht steht.

125) Ebend. S. 248 f. — Mehrere Operationen, wie das Hämmern, Walzen, Anlassen, können zwar die Vertheilung der Elasticität in den Metallen bis zu verschiedenen Graden abändern; allein keine derselben scheint von der Art zu sein, dass sie die Metalle auf einen der völligen Homogenität nahen Zustand zu bringen vermöchte (s. ebend. S. 255.).

derjenigen Schwingungsart gezeigt, welche nach **Chladni** die einfachste bei einer Kreisscheibe ist. Bringt man auf einer *homogenen* Scheibe diese Theilungsart hervor, welche aus 2 sich rechtwinkelig durchschneidenden diametralen Knotenlinien besteht, und streicht dann die Scheibe an einem Ende einer dieser Linien, so bilden sich wie im erstern Falle, so auch in diesem zweiten, 2 rechtwinkelig sich schneidende diametrale Linien, die aber von der Stelle, wo die erstern lagen, um 45° entfernt sind. Der Ton ist in beiden Fällen derselbe. — Verfährt man nun auf gleiche Weise mit einer *heterogenen* Scheibe, so findet man

1) in Betreff der *Gestalt* der in beiden Fällen sich bildenden 2 Knotenlinien, dass sie

   a) entweder in *beiden* Fällen *rechtwinkelig sich schneidende diametrale Linien* ([126]) (also beide Male ein *rectanguläres System*) sind, wobei die Linien des zweiten Falles von denen des ersten um 45° abliegen. Dieses tritt ein, wenn sich eine der Elasticitätsaxen in der Ebene der Scheibe befindet, und die Elasticität senkrecht gegen diese Axe eben so gross wie in derselben ist. In einem Körper, der 3 ungleiche Elasticitätsaxen besitzt, gibt es nur 2 Ebenen, welche diese Eigenschaft haben.

   b) oder es bildet sich nur in *einem* Falle ein solches *rechtwinkeliges Kreuz gerader Linien*, im *andern* aber *zwei hyperbelähnliche Curven*. (Wir nennen, mit **Savart**, das erstere System von Knotenlinien das *rectanguläre*, das letztere das *hyperbolische System*.) Dieses findet Statt, wenn sich eine der Elasticitätsaxen in der Ebene der Scheibe befindet, aber die Elasticität senkrecht gegen diese Axe schwächer ist.

---

126) Zur Verhütung jeder Undeutlichkeit bemerke ich hier, dass ich von hier an die aus den 2 Knotenlinien, mögen sie gerade oder krumm sein, gebildete Figur öfters mit *Savart* ein *System von Knotenlinien*, oder kürzer ein *Knotensystem*, oder schlechtweg ein *System* nenne.

c) oder es entstehen in *beiden* Fällen 2 *hyperbolische Curven* (also beide Male ein *hyperbolisches System*). Dieses geschieht dann stets, wenn die Scheibe keine der Elasticitätsaxen in ihrer Ebene enthält.

Anmerkung. Die so eben und im nächst Folgenden aufgestellten Bestimmungen sind Resultate Savart's, die er aus seinen Beobachtungen an Holzscheiben gezogen hat. Sie gelten daher auch vor Allem von Scheiben dieser Art, und dann überhaupt von solchen, die aus Körpern, welche 3 unter sich *rechtwinkelige* Elasticitätsaxen haben, genommen sind. Bei Körpern, welche zwar auch 3 Elasticitätsaxen haben, die aber *nicht alle* 3 *gegen einander senkrecht* sind, können gleiche Erscheinungen andere Ursachen haben als bei jenen. So rührt, nach Savart (ebend. S. 245.), die beim Kalk- und Eisenspathe sich darbietende Erscheinung, dass die um die Grundkanten der Säule geschnittenen Scheiben sämmtlich ein aus 2 sich rechtwinkelig schneidenden Linien bestehendes Knotensystem zeigen, von ihrer eigenthümlichen Spaltbarkeit her. Bekanntlich lässt das Kalkspathrhomboëder sich oft parallel seinen Diagonalebenen spalten, und da diese Ebenen sich zu je 2 rechtwinkelig schneiden, so bilden die Durchschnitte eines jeden dieser Paare mit den Rhomboëderflächen die grosse und kleine Diagonale dieser letztern. Schneidet man nun eine Reihe Scheiben um die nämliche Linie, so muss die Structur derselben in ihrer Ebene nach 2 unter sich rechtwinkeligen Richtungen verschieden sein; daher dann die Entstehung der sich rechtwinkelig schneidenden Knotenlinien, wie bei Scheiben, die aus Körpern mit rechtwinkeligen Elasticitätsaxen, um eine dieser Axen geschnitten sind. — Aus der Verwandtschaft der Erscheinungen, welche Kalkspath und Bergkrystall in Bezug auf Schallschwingungen darbieten, scheint, nach Savart (a. a. O. S. 246.), hervorzugehen, dass die Anordnung der Klangfiguren und die Anzahl der sie begleitenden Schwingungen stets mit den Theilbarkeitsrichtungen in den Scheiben innig verknüpft seien. Im Allgemeinen kann man sagen, dass, wenn sich diese Richtungen in der Ebene der Scheiben rechtwinkelig schneiden, eine der beiden Theilungsarten allemal aus einem rechtwinkeligen Linienkreuze bestehe, dass aber, wenn sie schiefwinkelig gegen einander liegen, beide Knotensysteme als hyperbolische Curven auftreten.

2) In Betreff der *Lage* der in beiden Fällen entstehenden 2 Knotenlinien findet man, dass die Richtung derselben nicht mehr frei ist, wie in den homogenen Scheiben, sondern

a) eine der geraden Linien legt sich immer der dann (so oft eine *gerade* Linie sich bildet) stets in der Scheibenebene befindlichen Elasticitätsaxe parallel, und dieses so bestimmt, dass es nicht einmal nöthig ist, den Finger an den Umkreis der Scheibe zu legen, um die Bildung der Knotenlinie an dieser Stelle zu bedingen, wie man es bei homogenen Scheiben zu thun pflegt, sie bildet sich schon von selbst vermöge der Wirkung der ungleichen Elasticität.

b) Die Hauptaxe der Curven (von Savart, weil sie Knotenlinien sind, *Knotencurven* genannt) stellt sich immer in die Richtung des kleinsten Beugungswiderstandes, die Nebenaxe derselben aber stellt sich in die Richtung des grössten Beugungswiderstandes.

Demnach kann bei solchen Scheiben diejenige Theilungsart, welche aus 2 sich rechtwinkelig schneidenden Knotenlinien besteht, nur in 2 bestimmten Richtungen auftreten. Bringt man in einer solchen Scheibe irgend eine der höhern, jedoch aus Diametrallinien bestehenden, Theilungsarten hervor, so zeigt der Versuch, dass sie ebenfalls nur 2 unveränderliche Lagen annehmen können, und dass sie gewisse Modificationen erleiden, analog denen, welche das System der 2 sich rechtwinkelig schneidenden Linien erfährt. Die *feste* und *zweifache Lage*, welche die Knotenlinien annehmen können, sind demnach die wesentlichen Kennzeichen der Kreisscheiben, deren Durchmesser nicht sämmtlich einerlei Elasticität und Cohäsion besitzen ([127]).

---

127) *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 210.

3) In Betreff der *Töne* sind 2 Punkte zu beachten.

a) Das *Verhältniss der Töne einer Scheibe zu denen einer andern Scheibe*, die aus demselben Körper, aber in einer andern Richtung, oder auch, obgleich in derselben Richtung, doch an einer andern Stelle ([128]) geschnitten ist. Hierüber bemerken wir nur überhaupt, in Bezug auf Scheiben, die aus Körpern mit 3 Elasticitätsaxen genommen sind, dass die Anzahl der mit jeder Theilungsart verbundenen Schwingungen im Allgemeinen desto grösser, folglich ihr Ton desto höher ist, je geringer die Neigung der Scheibe gegen die Axe der grössten Elasticität ist. — Die Scheibe, welche die Axen der grössten und der mittlern Elasticität in ihrer Ebene enthält, macht die meisten Schwingungen, gibt also den höchsten Ton. — Die Scheibe, welche gegen die Axe der grössten Elasticität senkrecht steht, macht die wenigsten Schwingungen, gibt daher den tiefsten Ton. — Das Speciellere möge man in Savart's erwähnter Abhandlung und den beigegebenen Abbildungen nachsehen.

b) *Das Verhältniss der Töne der beiden Knotensysteme bei jeder einzelnen Scheibe.* Denn während eine *homogene* Scheibe, namentlich so lange die Theilungsart (die Klangfigur) dieselbe bleibt, stets *denselben Ton* gibt, die Richtung der Diametral-

---

128) Ersteres bezieht sich namentlich auf die Körper mit 3 Elasticitätsaxen. Letzteres, nämlich eine Verschiedenheit der Scheiben, auch wenn sie nach einerlei Richtung aus einem Körper geschnitten sind, gilt von Metallscheiben, namentlich von den aus einem Cylinder von Blei geschnittenen; denn bei diesen fand *Savart* 1) dass lange nicht alle Scheiben, welche aus der durch die Axe gehenden Ebene genommen waren, gleiche Theilungsarten und gleiche Töne gaben; 2) dass auch die Theilungsarten der auf die Axe senkrechten Scheiben sich eben so wenig entsprachen, sondern sehr verschieden waren, und auch bei weitem nicht von denselben Tönen begleitet wurden (s. in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 250.). Auch ist hier zu erwähnen, dass beim Bergkrystall nicht alle der Axe parallele Ebenen eine gleiche Elasticität haben, wohl aber je 3 derselben, die gleiche Winkel mit einander machen (s. ebend. S. 240 f.).

linien der Figur mag sein, welche man wolle, sind dagegen bei *heterogenen* Scheiben die beiden Knotensysteme, auch wenn sie selbst einander gleich sind, dennoch meistens von mehr oder weniger unter sich *ungleichen*, und nur in sehr wenigen Fällen von *gleichen Tönen* begleitet.

aa) Eine völlige *Gleichheit* der Töne der beiden Knotensysteme wird nur in sehr wenigen Fällen wahrgenommen. Es gibt, nach Savart, in einem Holzcylinder, der 3 ungleiche Elasticitätsaxen besitzt, 4 Ebenen, in denen die Elasticität so vertheilt ist, dass die mit diesen Ebenen parallelen Scheiben 2 gleiche Töne geben, und, wenn man sie um 2 feste, von ihm *Nodalcentra* genannte Punkte dreht, ihre Theilungsarten allmälig in einander übergehen ([129]). Während aber bei diesen Scheiben die beiden Töne einander gleich sind, sind dagegen die Knotensysteme, von denen sie begleitet sind, verschieden; denn das eine ist rectangulär, das andere parabolisch ([130]). In einem Bergkrystall gibt es 3 Ebenen, welche, so wie die ihnen parallelen Scheiben, die eben erwähnten Erscheinungen darbieten ([131]). Dass auch beim Kalkspath Ähnliches Statt finde, darf man wohl aus einer der abgebildeten Scheiben dieser Substanz schliessen, welche 2 gleiche Töne gibt, die beide von einem rectangulären Knotensysteme begleitet werden ([132]).

bb) In der Regel sind beide Töne einander *ungleich*. *Die Grade dieser Ungleichheit* aber sind *verschieden*

---

129) *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 214 f. 226. vgl. S. 218. 220.
130) Ebend. Taf. III. Fig. 8. Nr. 5.
131) Ebend. S. 231. und Taf. IV. Fig. 3 bis. Nr. 8.
132) S. ebend. Taf. IV. Fig. 7 bis. Nr. 1.

α) bei *Scheiben einer und derselben Substanz*, jenachdem die Elasticität in ihrer Ebene mehr oder weniger verschiedenartig ist. Das Intervall beider Töne kann geringer als ein Viertelton sein, kann aber auch bis zur Terz und darüber steigen. Wichtig ist dabei, namentlich bei Metallscheiben, die Grösse der Scheibe. Denn eine natürliche Folge der halbregelmässigen Krystallisation der Metalle ist, dass die Elasticitätsunterschiede bei einer und derselben Substanz desto grösser zu sein scheinen, je kleiner die angewandten Kreisscheiben sind, weil diese Scheiben eine um so kleinere Anzahl krystallinischer Systeme enthalten, als ihr Durchmesser kleiner ist. Daraus erklärt sich, warum unter den beiden Tönen einer Scheibe Blei, Zinn oder Zink von 12 bis 15 Centimetern im Durchmesser, selten ein grösseres Intervall als ein halber Ton sich findet, während das Intervall häufig bis auf eine Quarte steigt, wenn die Scheiben aus jenen Metallen nur 3 bis 4 Centimeter im Durchmesser halten ([133]).

β) bei *Scheiben verschiedener Substanzen*, die man mit einander vergleicht. Die Ursache hiervon, dass Scheiben verschiedener Substanzen besonders in dem Maximum des Intervalles beider Töne von einander abweichen, liegt darin, dass das gegenseitige Verhältniss der grössten und kleinsten Elasticitätsaxe bei der einen Substanz ein anderes ist, als bei einer andern. Z. B. bei dem Büchenholze verhält sich die kleinste jener Axen zur grössten = 1 : 16, beim

133) *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 250 ff. und Taf. V. Fig. 3—5.

Eichenholze ist das Verhältniss kleiner, bei dem Bergkrystall grösser ([134]). Als Minimum des Intervalles kann man ungefähr durchweg einen Viertelton oder eine noch kleinere Differenz annehmen ([135]); das Maximum des Intervalles der beiden Töne beträgt bei den Scheiben von Büchenholz fast eine kleine Terz ([136]), bei denen von Bergkrystall und von Kalkspath mehr als eine Quinte ([137]), bei denen von Metall kann es eine Quarte oder auch eine Quinte betragen ([138]).

---

134) *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 215. 217. 256 f.

135) Unter den von *Savart* ebend. abgebildeten Holzscheiben ist das kleinste Intervall, welches man darunter findet, das von *ut* + : *ut* ♯ — (*Savart* bezeichnet nämlich überall die Tonintervalle mit der französischen Benennung der Töne: *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*.), mithin das Verhältniss beider Töne wie c + : cis — (s. Taf. III. Fig. 3. Nr. 2.). Bei den abgebildeten Scheiben von Bergkrystall findet man als kleinstes Intervall re : re + (s. Taf. IV. Fig. 3 bis. Nr. 1.), wo folglich der Abstand beider Töne wie der von d : d + ist. Unter den aufgestellten Beispielen von Metallscheiben ist das kleinste Intervall re♭ : re♭ + (s. Taf. V. Fig. 4.), mithin das von des : des +.

136) Hieher gehört das Intervall ut♯ : mi♭, welches auf Taf. III. die beiden Scheiben Fig. 10. Nr. 2. u. Fig. 14. Nr. 3. zeigen, das von mi + : sol — der beiden Scheiben Fig. 8. Nr. 3., u. Fig. 16. Nr. 1. vgl. ebend. S. 244.

137) Dass der Abstand beider Töne an den Scheiben von Bergkrystall mehr als eine Quinte betragen könne, zeigen die Intervalle ut : sol +, welches auf Taf. IV. die Scheibe Fig. 3 bis. Nr. 4. darbietet, ferner re — : la und re♭ + : la + der Scheiben L und K in Fig. 4 bis. vgl. ebend. S. 211. Dass auch bei den Scheiben von Kalkspath ein gleiches Intervall-Maximum erscheinen könne, zeigen unter den Taf. IV. Fig. 7 bis. abgebildeten Scheiben dieser Art Nr. 5., deren Töne *ut* und *sol*♯ sind, und Nr. 4., welche re♯ — und la♯ gibt.

138) Beispiele des Abstandes beider Töne um eine Quarte sind die Intervalle ut : fa und ut♯ : fa, welche bei 2 Scheiben von Blei oder Zinn, deren jede 6 Centimeter im Durchmesser und 4 Millimeter Dicke hatten, sich zeigten (s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) Taf. V. Fig. 2. Nr. 2. und 6). Ersteres Intervall fand er auch bei einer bleiernen Kreisscheibe von 3,8 Centimeter im Durchmesser (s. Taf. V. Fig. 5. Nr. 2.) vgl. S. 250. 253. Dass das Intervall beider Töne bei Metallscheiben sogar eine Quinte betragen könne, sagt *Savart* ebend. S. 249. — Natürlich werden die verschiedenen Metalle hierin unter sich mannichfach abweichen. *Savart* bemerkt hierüber Folgendes (ebend. S. 257 f.): »Es wäre ohne Zweifel sehr wichtig, zu bestimmen, wie gross das Intervall der beiden Töne bei kreisrunden Scheiben aus den verschiedenen Metallen werden könne. Ich habe indess hierüber nichts Gewisses ausmachen können, weil das Intervall desto grösser wird, je reiner die Metalle sind, und weil es überdiess von, zum Theil noch gänzlich unbekannten Umständen bei dem Acte der Erstarrung abhängt. Indess hat es mir geschienen, als sei dies Intervall-Maximum beim Zinn, Blei und Zink beträchtlicher als beim Kupfer, Wismuth, Eisen, Antimon und Silber. Bei den Legirungen ist es stets sehr klein, so liegen beim Messing und vor Allem beim Glockengut die beiden Töne so nahe zusammen, dass es fast immer unmöglich ist, sie von einander zu unterscheiden.«

Da dem Obigen zufolge die Knotensysteme, von denen jene beiden Töne begleitet sind, entweder beide rectangulär, oder das eine rectangulär und das andere parabolisch, oder beide parabolisch sind, so kann man fragen, ob nicht ein Zusammenhang zwischen diesen Knotensystemen und den Tönen in der Art Statt finde, dass z. B. das rectanguläre stets von einem tiefern oder einem höhern Tone begleitet sei als das andere. Allein einen solchen Zusammenhang hat Savart nicht gefunden; vielmehr erscheint, seinen Beobachtungen zufolge, an der einen Scheibe der tiefere Ton beim rectangulären Systeme, an einer andern beim parabolischen. Ebenso haben seine Versuche dargethan, dass einerseits bei verschiedenen Knotensystemen die beiden Töne einer Scheibe einander gleich, und andererseits bei ganz gleich gestalteten Knotensystemen die Töne verschieden sein können ([139]), so dass folglich bei *gleicher Grösse*, *Dicke*, *Rundung* und *Klangfigur* des schwingenden Körpers dennoch verschiedene Töne erfolgen können, wovon aber dann wohl stets die Ursache in einer verschiedenen Elasticität und Cohäsion zu suchen ist. — Auf jene Beobachtungen gestützt, stellt Savart unter Anderem auch als Resultat auf, dass die Schwingungsmengen (folglich auch die

---

139) Beispiele der Gleichheit der Töne bei Verschiedenheit der Knotensysteme zeigt das S. 361. bei aa. Gesagte. Beispiele von Ungleichheit der Töne, ja sogar vom Intervall-Maximum, bei völliger Gleichheit der Knotensysteme bieten *Savart*'s Abbildungen der Kreisscheiben von Büchenholz dar. Denn 2 Scheiben Taf. III. Fig. 8. Nr. 3. und Fig. 16. Nr. 1. geben beide die Töne *mi*+ und *sol*—, während die Knotensysteme, wovon die Töne begleitet sind, beide rectangulär, folglich einander ganz gleich sind; ferner die Scheibe Fig. 14. Nr. 3. gibt die Töne *ut*♯ und *mi*♭, während die dabei erscheinenden 2 Curvenpaare einander ganz gleich sind. Hierbei ist zugleich noch das bemerkenswerth; dass sowohl beim rectangulären Systeme, als auch beim parabolischen, welchem die zuletzt genannte Scheibe angehört, das Intervall-Maximum der Töne der Scheiben dieser Substanz sich zeigt. — Auch bei den Scheiben von Bergkrystall und von Kalkspath erscheint das Intervall-Maximum der Töne der Scheiben dieser Art vorzugsweise da, wo beide Knotensysteme rectangulär sind, wie unter den Scheiben von Bergkrystall *Savart*'s Abbildungen ebend. Taf. IV. Fig. 3 bis. Nr. 4. und Fig. 4 bis. K. und unter denen von Kalkspath ebend. Fig. 7 bis. Nr. 5. zeigen.

Töne) nur indirect mit den Theilungsarten der schwingenden Körper verknüpft seien ([140]).

Anmerkung. Hier, wo von den verschiedenen Elasticitätsaxen eines Körpers die Rede ist, fügen wir noch Folgendes über die *Stäbe* bei. 1) Drei kleine parallelepipedische Stäbe von ganz gleichen Dimensionen, die von einem Holze, das 3 ungleiche Elasticitätsaxen hat, genommen sind, und zwar so, dass der erste nach der Richtung der grössten, der zweite nach der der mittleren, der dritte nach der der kleinsten Elasticität geschnitten ist, bringen, wenn man bei allen dreien einerlei transversale Schwingungsart erregt, dreierlei Töne hervor. Sind sie aus Büchenholz auf die angezeigte Weise geschnitten, so ist der Ton des zweiten um eine Quinte höher als der des dritten, der des ersten aber um 2 Octaven höher als der des dritten, wie Savart's Versuche gelehrt haben (s. Poggendorff's Annal. Bd. 16. (92.) S. 217. und Taf. III. Fig. 6.). Da sich nun der tiefste Ton zu seiner Quinte $= 1 : 1{,}5$, und zu seiner zweiten höhern Octave $= 1 : 4$, die Elasticität aber sich wie das Quadrat der Schwingungszahl verhält, so verhält sich im Büchenholz die kleinste Elasticität zur mittleren $= 1 : 2{,}25$, zur grössten aber $= 1 : 16$. — Auch bei 2 aus einer Kreisscheibe von Zinkblech nach verschiedenen Richtungen geschnittenen Stäben von gleicher Dimension fand er, dass ihr Ton bei gleicher Schwingungsart um eine kleine Terz verschieden war (s. ebend. S. 256.), folglich ihre Elasticität wie $1 : 1{,}44$ sich zu einander verhielt. — 2) Es ist § 19. S. 137. bei der Transversalschwingung eines Stabes erwähnt, dass die transversale Beugung nach zweierlei Richtungen eintreten könne: nach der Richtung der Breite und nach der Richtung der Dicke. Nach welcher von beiden sie Statt findet, hängt von der Erregung ab. Diese verschiedene Schwingungsrichtung ist nicht gleichgültig für den Ton, denn die Töne beider Richtungen sind verschieden, so dass hiernach jeder Stab bei einer und derselben Theilungsart 2 Töne zu geben vermag, jenachdem er in der Richtung der Breite oder in der Richtung der Dicke in Transversalschwingung versetzt wird. Ist indess der Stab sehr dünn, so wird der Unterschied der beiden Töne so gering, dass man ihn vernachlässigen darf (s. Savart a. a. O.).

---

140) *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 226.

Nach dieser Erläuterung der Schwingungsarten einer *am Rande ganz freien Kreisscheibe* führen wir noch an, was man bis jetzt über die Schwingungsarten *homogener Kreisscheiben* bei andern Haltungsweisen erforscht hat.

b) *Schwingungsarten einer an einem Orte ihres Randes angestemmten kreisrunden Scheibe.*

Nach Chladni bilden bei dieser Haltungsweise solche Scheiben zum Theil ganz andere Schwingungsarten, mithin auch andere Klangfiguren, die von den vorigen auf ähnliche Weise sich unterscheiden, wie die eines an einem Ende angestemmten Stabes von denen eines ganz freien verschieden sind ([141]). Gleichwie jedoch bei den Quadratscheiben (s. oben S. 328 f.) auch bei einer Anstemmung Schwingungsarten und Klangfiguren Statt finden können, die ganz in die Reihe der einer völlig freien gehören, so können auch an einer kreisrunden Scheibe bei Anstemmung einer schicklichen Stelle an einen festen, nicht allzu harten Gegenstand, Schwingungen und Klangfiguren entstehen, die ganz in die Reihe der bei *a.* *aa.* S. 346 ff. erwähnten gehören, und deshalb auch von ihm S. 160 f. zu diesen gerechnet werden. — Nach Poisson fällt bei einer vertical angestemmten Scheibe beim Grundtone keine Knotenlinie innerhalb derselben; beim zweiten Tone eine einzige kreisförmige, deren Abstand vom Mittelpunkte 0,441 des Radius der Scheibe beträgt; beim dritten Tone entstehen 2 solche Knotenlinien, und so fort, so dass die Zahl der kreisrunden Knotenlinien immer um 1 geringer ist als die Zahl des Tones, wenn man nach der hier begonnenen Weise die Töne fortzählt ([142]). Bei der Vergleichung dieser Resultate beider Forscher erinnere man sich an die oben S. 347. erwähnte Abweichung Poisson's, dass er nur kreisrunde Knotenlinien beachtet hat, und deshalb bei den ganz freien Kreisscheiben denjenigen Ton,

---

141) *Chladni* S. 166. 142) *Fechner*: Repert. S. 286. 297.

wobei eine Kreislinie sich bildet, für den Grundton hält. — Nach Chladni ist der tiefste Ton einer so angestemmten Kreisscheibe ungefähr um eine grosse Sexte tiefer als der tiefste Ton einer ganz freien homogenen Scheibe ([143]). Da nun als tiefster Ton der letztern in der obigen Tabelle C aufgestellt wurde, so würde demnach der tiefste Ton derselben Scheibe, wenn sie vertical angestemmt würde, ungefähr Contra-E sein. Nach Poisson verhält sich der Grundton der angestemmten Kreisscheibe zum Grundtone der am Rande ganz freien wie 1 : 1,879, ist folglich um eine grosse Septime tiefer; der zweite Ton der erstern verhält sich zum zweiten Tone der letztern = 1 : 1,289, ist folglich um eine verminderte Quarte tiefer als dieser ([144]). Da nun Poisson bloss diejenigen Schwingungsarten und Töne untersucht hat, welche in der obigen Tabelle in der mit 0 überschriebenen senkrechten Reihe enthalten sind, so hat man bei seinem ersten Tone einer ganz freien Scheibe an Gis, bei seinem zweiten an $\overline{\text{gis}}$+ zu denken. Darnach würde man als ersten Ton einer angestemmten Kreisscheibe etwa Contra-Aïs, als zweiten Ton etwa $\overline{\text{e}}$ erhalten. Auf diesen zweiten Ton führt auch, wenn man Contra-Aïs als Grundton nimmt, seine Angabe, dass sich der erste Ton zum zweiten bei einer angestemmten Kreisscheibe = 1 : 6,161 verhalte ([145]).

c) *Schwingungsarten einer am Rande unveränderlich befestigten kreisrunden Scheibe.*

Hierbei sind wir auf folgende Angaben Poisson's ([146]) beschränkt:

1) Bei dem Grundtone einer so befestigten Kreisscheibe fällt keine Knotenlinie innerhalb derselben; bei ihrem

143) Akust. S. 166. 144) *Fechner* a. a. O. S. 285. 145) Ebend. S. 285.
146) Ebend. S. 285 f. 297.

zweiten Tone bildet sich eine kreisrunde Knotenlinie, deren Abstand von Mittelpunkte der Scheibe 0,381 ihres Radius beträgt; bei ihrem dritten Tone entstehen 2 solche Knotenlinien, und so fort, so dass bei jedem Tone die Zahl der Kreislinien um 1 geringer ist als die Zahl, womit der Ton in dieser Reihenfolge bezeichnet ist.

2) Der Grundton verhält sich zum zweiten = 1 : 3,875. Dieser zweite Ton ist folglich ungefähr bis auf das Intervall eines kleinen halben Tones um 2 Octaven höher als der erste.

3) Der Grundton dieser befestigten Scheibe verhält sich zum Grundtone (der aber nach Chladni der zweite ist) einer ganz freien = 2,102 : 1,879, und zu dem Grundtone einer angestemmten = 2,102 : 1. Ihr zweiter Ton verhält sich zu demjenigen Tone einer freien Scheibe, wobei 2 Kreislinien sich bilden, = 1,334 : 1,289, und zu dem zweiten Tone einer angestemmten Scheibe = 1,334 : 1. Hiernach würde der Grundton der befestigten Scheibe etwa H, ihr zweiter Ton etwa $\overline{\text{ais}}$ — sein.

Nach dieser Erläuterung der Schwingungsarten *kreisrunder Scheiben* betrachten wir

β) *die Schwingungsarten elliptischer Scheiben.*

Bei diesen ist Chladni der einzige Führer. Was derselbe hierüber sagt, bezieht sich theils auf alle Scheiben dieser Form, theils auf besondere Arten derselben; denn gleichwie bei den länglichen Rechtecken vielerlei Verhältnisse zwischen dem Längen- und Breitendurchmesser möglich sind, so können auch bei den Ellipsen der längere und kürzere Durchmesser auf sehr verschiedene Weise sich zu einander verhalten, und da diese Verhältnisse Einfluss

auf die Schwingungsarten und Töne der Scheibe haben, so müssen sie hier ebensowohl wie bei den länglichen Rechtecken genau beachtet, und so weit sie von Chladni geprüft sind, aufgezählt werden, was in der folgenden Tabelle geschieht. Dass ich sie hier alle zusammengestellt habe, hat, wie bei jenen Rechtecken, den Zweck, den Einfluss der Abnahme des kürzern Durchmessers auf die Töne leicht überblicken zu lassen.

Die Schwingungsarten dieser elliptischen Scheiben lassen sich von Seiten ihrer Knotenlinien auf folgende Weise eintheilen: es zeigen sich

1) Durchmesser und mit ihnen parallele, oder doch, falls sie gekrümmt sind, als parallel zu betrachtende Linien. Beiderlei Knotenlinien kann man, wie bei den Kreisen, mit dem gemeinschaftlichen Namen »*durchgehende Linien*« umfassen. Diese liegen

   a) entweder nur in der Richtung der *Breite*, und sind dann gewöhnlich einwärts gebogen (und zwar die äussern mehr, als die innern), und Hyperbeln, die ihre convexe Seite der Mitte zukehren, sehr ähnlich;

   b) oder nur in der Richtung der *Länge*. Dieses ist, nach Chladni, immer nur Eine, nämlich die Längenaxe der Ellipse;

   c) oder nach *beiden* Richtungen, indem eine Längenlinie von Breiten- oder Querlinien durchschnitten ist.

2) einer oder mehrere in die Länge gezogene *Kreise*. Ein solcher Kreis ist bei der folgenden Tabelle mit Chladni als 2 in die Länge gehende, und wegen der länglich runden Gestalt der Scheibe etwas nach aussen gebogene Linien betrachtet und gerechnet, wie sich denn an etwas langen Ellipsen die Kreise auch wirk-

lich so zeigen, und überhaupt immer weit mehr, als die Scheibe selbst, in die Länge gestreckt sind.

3) *durchgehende Linien* und *Kreise* erscheinen zugleich, und zwar

a) entweder ein oder mehrere *Kreise* mit einer oder mehreren *Querlinien*,

b) oder ein oder mehrere *Kreise* mit einer *Längenlinie*,

c) oder ein oder mehrere *Kreise* mit einer oder mehreren *Querlinien* und einer *Längenlinie* (147).

Da wir einen in die Länge gestreckten *Kreis* als 2 *Längenlinien* rechnen, so zerfallen alle eben genannte Linien in die 2 Arten: *Breiten*- oder *Querlinien* und *Längenlinien.* Die Zahlen, welche die erstern anzeigen, sind die, welche zu Anfang der folgenden Tabelle eine horizontale Reihe bilden; die Zahlen, welche die letztern, mit Einschluss der für je 2 Linien gerechneten Kreise angeben, bilden am linken Rande der Tabelle eine senkrechte Reihe. Da, so oft eine *gerade Linie* der Länge nach liegt, dieses immer nur *Eine* ist, so kann die Auffassungsweise eines Kreises als 2 Längenlinien den Leser nie zweifelhaft lassen, von welcher Art die in der Tabelle angezeigten Längenlinien irgend einer Schwingungsart sind. Denn gibt die Tabelle 2 an, so müssen diese stets ein länglicher Kreis; gibt sie 3 an, ein solcher Kreis und eine gerade Linie sein, wenn 4, so können es nur 2 Kreise, und wenn 5, so müssen es 2 Kreise und eine gerade Linie sein. — Bei allen elliptischen Scheiben, deren Schwingungsarten und Töne hier aufgestellt werden,

---

147) *Chladni* S. 167. und die dazu gehörenden Abbildungen Tab. VIII. Fig. 179—203. Wie man, um diese oder jene Schwingungsart hervorzubringen, die Scheibe am passendsten mit den Fingern halte, zeigt *Chladni* S. 168 ff.

ist die Längenaxe von einerlei Grösse; nur die Breitenaxe verkleinert sich. Damit man wisse, welcher Art der elliptischen Gestalt jede besondere Schwingungsart und der damit verbundene Ton angehöre, ist vor jedem dieser Töne das Verhältniss der längern Axe zur kürzern angegeben, und zwar so, dass die Zahl 1 stets die längere, die gebrochene Zahl die kürzere Axe bezeichnet. So wie früher in der Tabelle der länglichen Rechtecke in jeder Columne die entsprechende Schwingungsart eines quadratischen Rechtecks mit dem dabei erscheinenden Tone eingeklammert obenan gesetzt wurde, um das Verhältniss zwischen einer Scheibe, deren Längen- und Breitendurchmesser einander gleich sind, und einer solchen, wo sie von einander abweichen, zu zeigen, so habe ich auch hier in gleicher Absicht obenan bei jeder Reihe die entsprechende Schwingungsart einer kreisrunden Scheibe, deren sämmtliche Durchmesser dem längern Durchmesser der Ellipse gleich sind und deren Verhältniss daher durch 1 : 1 bezeichnet ist, eingeklammert vorgesetzt mit dem dabei erfolgenden Tone. Um aber dieses thun zu können, bin ich auf folgende Weise verfahren. Da, wo bei den Ellipsen bloss Querlinien erscheinen, also bei den in der obersten horizontalen, zur Linken mit 0 bezeichneten Abtheilung enthaltenen Schwingungsarten 2|0, 3|0, 4|0, 5|0, 6|0 ([118]), waren natürlich diejenigen der obigen Tabelle der Kreisscheiben zu vergleichen, welche die oberste horizontale Abtheilung bilden, und nur durchgehende Linien enthalten. Eben diese habe ich bei der zweiten (zur Linken mit der Zahl 1 bezeichneten) horizontalen Ab-

---

118) Auch hier trenne ich, nach *Chladni's* Beispiele, die nach verschiedenen Richtungen gehenden Linien durch einen senkrechten Strich so, dass die Querlinien zur Linken, die Längenlinien zur Rechten des Striches stehen; und wenn nach einer dieser Richtungen keine Linien bei einer Schwingungsart vorhanden sind, dieses Fehlen durch 0 an dieser Stelle angezeigt wird.

theilung der folgenden Tabelle verglichen, nämlich so, dass ich 1|1 einer elliptischen Scheibe mit 2|0 [149] einer Kreisscheibe, 2|1 der erstern mit 3|0 der letztern u. s. w. verglich, weil bei einem Kreise der bei den Ellipsen obwaltende Unterschied der Länge und Breite wegfällt. Da bei der dritten, links mit der Zahl 2 bezeichneten Reihe der folgenden Tabelle die 2 Längenlinien vielmehr ein länglicher Kreis sind, so musste mit 0|2 einer elliptischen Scheibe, 0|I einer Kreisscheibe; mit 1|2 der erstern, die Schwingungsart 1|I der letztern u. s. w. verglichen werden. Bei der folgenden horizontalen Reihe, neben welcher links 3 steht, sind ein länglicher (= 2 Linien gerechneter) Kreis und eine gerade Längenlinie nach der einen Richtung vorhanden. Da nun bei einer Kreisscheibe Längen- und Breitenlinien einander gleich sind, so wurde mit 0|3 einer elliptischen Scheibe 1|I einer kreisrunden; mit 1|3 der erstern, 2|I der letztern u. s. w. verglichen. Bei der nächst folgenden, zur Linken mit 4 bezeichneten horizontalen Abtheilung sind, was eben die Zahl 4 anzeigt, 2 Kreise vorhanden, folglich mit 0|4 einer elliptischen Scheibe, 0|II einer kreisrunden; mit 1|4 der erstern, 1|II der letztern u. s. w. zu vergleichen. Bei der untersten horizontalen Abtheilung sind nach der einen Richtung 2 Kreise (welche = 4 Längenlinien gerechnet sind) und eine gerade Linie vorhanden. Deshalb ist, aus gleichem Grunde wie bei der mit 3 bezeichneten Abtheilung, mit 0|5 einer elliptischen Scheibe, 1|II einer kreisrunden; mit 1|5 der erstern, 2|II der letztern verglichen.

---

149) Wir trennen hier mit *Chladni* die durchgehenden Linien einer Kreisscheibe von den kreisrunden Linien derselben auf gleiche Weise durch einen Strich, und setzen die Zahl der erstern, oder, falls dergleichen bei einer Schwingungsart nicht vorhanden sind, 0, zur Linken; die durch römische Zahlen bezeichneten Kreise aber zur Rechten des Striches, und wenn keine Kreise vorhanden sind, 0 an deren Stelle.

der Schwingı

	0	1	
0			(1 : 1 1 : $\frac{8}{9}$ 1 : $\frac{4}{5}$ 1 : $\frac{3}{4}$ 1 : $\frac{2}{3}$ 1 : $\frac{3}{5}$ 1 : $\frac{1}{2}$ 1 : $\frac{3}{8}$
	$\frac{3}{14}$ b. h $\frac{3}{17}$ f $\frac{3}{20}$ a. b	1 : $\frac{3}{14}$ cis. d 1 : $\frac{3}{17}$ g —	1 1
	: 1 gis +) $\frac{8}{9}$ cis — $\frac{4}{5}$ e $\frac{3}{4}$ fis — $\frac{2}{3}$ a $\frac{3}{5}$ cis — $\frac{1}{2}$ fis $\frac{3}{8}$ d $\frac{1}{3}$ g $\frac{3}{11}$ cis $\frac{1}{4}$ f — $\frac{3}{14}$ a	(1 : 1 e +) 1 : $\frac{8}{9}$ fis. g 1 : $\frac{4}{5}$ a 1 : $\frac{3}{4}$ h — 1 : $\frac{2}{3}$ c + 1 : $\frac{3}{5}$ f + 1 : $\frac{1}{2}$ a. b 1 : $\frac{3}{11}$ dis 1 : $\frac{1}{4}$ fis +	(1 1 1 1 1
	: 1 e +) : $\frac{8}{9}$ gis + : $\frac{4}{5}$ c : $\frac{3}{4}$ d : $\frac{2}{3}$ f + : $\frac{3}{5}$ a — : $\frac{1}{2}$ d	(1 : 1 b) 1 : $\frac{8}{9}$ cis + 1 : $\frac{3}{5}$ c	(1

Zur weitern Erläuterung der Schwingungsarten dieser Scheiben fügen wir noch Folgendes bei:

1) *über die Schwingungsarten dieser Scheiben für sich allein betrachtet.*

Es können bei diesen Scheiben sowohl Figuren als Töne bei gleicher Anzahl durchgehender Knotenlinien sehr verschieden sein, jenachdem diese Linien entweder sämmtlich in die Quere oder eine davon in die Länge geht. Wenn die beiden Durchmesser nur wenig verschieden sind, so ist dieser Unterschied wenig oder gar nicht zu bemerken, indem die Figuren dann meistens zu undeutlich erscheinen, als dass sich genau bestimmen liesse, ob eine Linie im längern Durchmesser gehe oder nicht, und man durch einige Veränderung der Stellen des Haltens und Streichens leicht die Lage der Linien verrücken kann, ohne Veränderung des Tones. — Wenn nach und nach die Breite der Scheibe mehr vermindert wird, so fangen erst die einfachern und sodann bei noch bedeutenderer Verminderung derselben auch die übrigen Schwingungsarten an, sich in Beziehung auf die eine oder auf die andere Reihe sowohl in Ansehung der Klangfigur, als auch von Seiten des Tones genauer zu unterscheiden ([150]). Das wichtigste Speciellere darüber ist:

a) Bei dem Verhältnisse des längern Durchmessers zum kürzern $= 1 : \frac{8}{9}$ hat sich die erste Reihe von Schwingungsarten, wo bloss Querlinien vorhanden sind, von der zweiten, wo Querlinien von einer in die Länge gehenden Linie durchschnitten werden, noch nicht abgesondert, weil hier die zuvor erwähnte Unbestimmtheit in der Lage der Linien sich noch zeigt. Auch können manche Schwingungsarten, wie 4|1, 2|2, und 1|3, die ganz oder beinahe einerlei Ton geben, durch mancherlei Verzerrungen in einander übergehen ([151]).

---

150) *Chladni* S. 171. 151) Ebend. S. 173.

b) Auch bei den Verhältnissen $1 : \frac{4}{5}$ und $1 : \frac{3}{4}$ sind die beiden ersten Reihen von Schwingungsarten nicht ganz von einander abgesondert, so dass nur ungefähr bei den ersten 2 Schwingungsarten dieser Reihen der Unterschied bemerkbar ist.

c) Bei dem Verhältniss $1 : \frac{2}{3}$ sind die beiden ersten Reihen von Schwingungsarten sowohl in Hinsicht der Klangfiguren, als auch in Hinsicht der Töne schon merklich von einander abgesondert. Auch hier können wieder verschiedene Übergänge einer Schwingungsart in eine andere, die den nämlichen Ton gibt, durch verzerrte Figuren Statt finden. Dergleichen zeigt sich besonders zwischen den beiden Schwingungsarten 3|0 und 0|2, welche gleichen Ton geben ([152]).

d) Bei den Verhältnissen $1 : \frac{1}{2}$, $1 : \frac{1}{3}$, $1 : \frac{1}{4}$, die wir ihrer Ähnlichkeit wegen hier zusammenfassen, gibt die Reihe von Schwingungsarten, wo bloss Linien in die Länge gehen, oder 0|2, 0|3, 0|4 u. s. w. entweder eben dieselben (so bei $1 : \frac{1}{2}$), oder fast eben dieselben (so bei $1 : \frac{1}{3}$, $1 : \frac{1}{4}$) Töne, wie die Reihe, wo bloss Linien in die Quere gehen, oder 2|0, 3|0, 4|0 u. s. w., nur mit dem Unterschiede, dass sie bei $1 : \frac{1}{2}$ um 2 Octaven, bei $1 : \frac{1}{3}$ um 3 Octaven, bei $1 : \frac{1}{4}$ um 4 Octaven höher sind, als die Töne der letztern Reihe, wie die Tabelle zeigt.

e) Die merkwürdigsten Verhältnisse des längern Durchmessers einer elliptischen Scheibe zum kürzern sind 5 : 3, 8 : 3, 11 : 3, 14 : 3, 17 : 3, 20 : 3 u. s. f., oder, wie wir dafür in obiger Tabelle gesetzt haben, $1 : \frac{3}{5}$, $1 : \frac{3}{8}$, $1 : \frac{3}{11}$, $1 : \frac{3}{17}$, $1 : \frac{3}{20}$. Nehmen wir bei diesen Verhältnissen die erste Reihe der Schwingungsarten, d. h. die, bei welchen bloss Querlinien vorhanden sind,

---

152) *Chladni* S. 175.

wie 2|0, 3|0, 4|0 u. s. w., aus, weil sie ganz für sich besteht und fast nur von dem längern Durchmesser abhängt, und achten wir bloss auf die Schwingungsarten, bei welchen in die Länge gehende Knotenlinien (einen Kreis für 2 Längenlinien gerechnet) entweder allein oder zugleich mit Querlinien vorhanden sind, so ergibt sich, dass bei jedem der genannten Verhältnisse diese letztern Schwingungsarten nur eine einzige Reihe bilden, so dass, wenn man bei dem Verhältnisse 5 : 3 die Wirkung einer Längenlinie als das Doppelte einer Querlinie, bei dem Verhältnisse 8 : 3 als das Dreifache, bei dem von 11 : 3 als das Vierfache u. s. w. ansieht, alle diejenigen Schwingungsarten einerlei Ton geben, bei welchen die Summe der Linien, nachdem man die Zahl der Längenlinien aus dem angegebenen Grunde je nach dem vorliegenden Verhältnisse verdoppelt, oder verdreifacht, oder vervierfacht u. s. w. hat, die nämliche ist. So ist bei dem Verhältnisse 5 : 3 hiernach z. B. die Summe der Linien der Schwingungsart 2|1 = 4, weil 2|1 × 2 summirt wird; eben so die Summe von 0|2 = 4, weil 0|2 × 2 zu zählen ist. So wie nun darnach die Summen dieser beiden Schwingungsarten gleich sind, so sind es auch ihre Töne. Beide geben a +. Eben so ist bei dem Verhältnisse 8 : 3 z. B. die Summe der Linien von 3|1 = 6, weil 3|1 × 3 summirt wird; eben so die Summe der Linien von 0|2 = 6, weil 0|2 × 3 zu zählen ist. Bei dieser Gleichheit der Summen der Linien sind auch die Töne beider gleich, nämlich $\bar{\text{h}}$ —. Bei dem Verhältnisse 11 : 3 ist z. B. die Summe der Linien von 4|1 = 8, weil 4|1 × 4 zusammenzuzählen ist, eben so die Summe von 0|2 = 8, weil man 0|2 × 4 zu zählen hat; daher ist auch der Ton beider Schwingungsarten derselbe, $\bar{\bar{\text{b}}}$ + Die hier angegebenen Beispiele werden hinreichen, um das zuvor Gesagte zu verdeutlichen und

die nachfolgenden Tabellen verständlich zu machen. **Chladni** gab anfangs für die obigen Verhältnisse als allgemeine Bezeichnung an 5 + n 3 : 3, wobei n entweder 0 oder irgend eine ganze Zahl bedeutet ([153]). Die später von ihm gegebene aber (n 3 — 1) : 3, wenn n, von 2 an gerechnet, eine ganze Zahl bedeutet ([154]), ist zweckmässiger, weil das n dieser Formel zugleich als Exponent von L bei der folgenden Formel dient. Man kann nämlich, wenn L Längen- und Q Querlinien bedeutet, die Summe der Linien jeder Schwingungsart der bezeichneten Verhältnisse ausdrücken durch Q + n L, wobei n dieselbe Zahl wie in der Formel (n 3 — 1) : 3 bezeichnet. Ist z. B. n = 2, so ergibt sich aus (2 × 3 — 1) : 3 = (6 — 1) : 3 das Verhältniss 5 : 3, und aus Q + n L bei einer diesem Verhältnisse angehörenden Schwingungsart, z. B. bei 2|1, wo Q = 2, L = 1, erhält man, da n = 2 bei diesem Verhältniss ist, 2 + 2 × 1 = 2 + 2 = 4. In folgenden Tabellen ([155]) überblickt man bei jedem einzelnen der oben genannten Verhältnisse, in jeder senkrechten Reihe diejenigen Schwingungsarten, welche, bei der angegebenen Betrachtungsweise der Längenlinien, einerlei Summen von Knotenlinien, und daher auch einerlei Ton geben.

Tabelle für das Verhältniss des längern Durchmessers zum kürzern = 1 : $\frac{3}{5}$ oder 5 : 3.

	1 | 1	2|1 0|2	3|1 1|2	4|1 2|2 0|3	5|1 3|2 1|3	6|1 4|2 2|3 0|4	7|1 5|2 3|3 1|4	8|1 6|2 4|3 2|4 0|5	9|1 7|2 5|3 3|4 1|5
Summe v. Q + 2L:	3	4	5	6	7	8	9	10	11 u. s. w.
Töne:	Gis +	a +	$\overline{g}$ —	$\overline{\overline{d}}$ —	$\overline{\overline{gis}}$ —	$\overline{\overline{\overline{cis}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{f}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{a}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$

153) Akust. S. 172. 154) N. Beytr. S. 52. 155) Aus *Chladni's* Akust. S. 176 ff.

Die Töne kommen aber nicht etwa mit den Quadraten dieser Summen überein, sondern sind weiter aus einander.

Tabelle für das Verhältniss 1 : $\frac{3}{8}$ oder 8 : 3.

	1|1	2|1	3|1 0|2	4|1 1|2	5|1 2|2	6|1 3|2 0|3	7|1 4|2 1|3	8|1 5|2 2|3	9|1 6|2 3|3 0|4
Summe von Q+3L:	4	5	6	7	8	9	10	11	12 u. s. w.
Töne:	d	d+	h −	f	b+	dis	g	h −	d

Tabelle für das Verhältniss 1 : $\frac{3}{11}$ oder

	1|1	2|1	3|1	4|1 0|2	5|1 1|2	6|1 2|2	7|1 3|2	8|1 4|2 0|3	9|1 5|2 1|3
Summe von Q+4L:	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Töne:	a	a	e. f	b+	dis+	gis −	c	dis	fis

Tabelle für das Verhältniss 1 : $\frac{3}{14}$

	1|1	2|1	3|1	4|1	5|1 0|2	6|1 1|2	7|1 2|2	8|1 3|2	9|1 4|2
Summe von Q+5L:	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Töne:	cis+	cis+	gis+	d −	fis	b+	d	f. fis	gis

Tabelle für das Verhältniss 1 : $\frac{3}{17}$

	1|1	2|1	3|1	4|1	5|1	6|1 0|2	7|1 1|2	8|1 2|2	9|1 3|2
Summe von Q+6L:	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Töne:	e+	e+	h+	e+	gis. a	c. cis	e −	g	b

Tabelle für das Verhältniss 1 : $\frac{3}{20}$

	1|1	2|1	3|1	4|1	5|1	6|1	7|1 0|2	8|1 1|2	9|1 2|2
Summe von Q+7L:	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Töne:	g	g	d	g	h	dis −	fis	a	c −

Es kommen also bei jedem der nebenstehenden Verhältnisse die Töne aller Schwingungsarten, bei welchen Knotenlinien in die Länge gehen, mit den Tönen derjenigen Reihe von Schwingungsarten überein, wo nur Eine Knotenlinie in die Länge geht. Dieses erkennt man sowohl aus jeder dieser Tabellen selbst, wo die eben bezeichnete Reihe überall obenan steht, als auch aus einer Vergleichung der einzelnen Tonreihen dieser Tabellen mit der zur Linken mit I bezeichneten horizontalen Abtheilung der obigen grössern Tabelle, denn man wird dann z. B. die hier bei dem Verhältniss $1 : \frac{3}{5}$ angegebene dort bei eben diesen Verhältnisszahlen als horizontale Reihe wiederfinden. — Eine sehr gewöhnliche Folge von dieser Übereinstimmung mehrerer Schwingungsarten in Ansehung des Tones ist die, dass an dergleichen Scheiben die meisten Figuren sich sehr verzerrt zeigen, und öfters einen Übergang aus einer Schwingungsart in die andere andeuten ([156]).

11 : 3.

10|1 6|2 2|3	11|1 7|2 3|3	12|1 8|2 4|3 0|4
14 gis. a	15 h	16 cis u. s. w.

oder 14 : 3

10|1 5|2 0|3	11|1 6|2 1|3	12|1 7|2 2|3	13|1 8|2 3|3	14|1 9|2 4|3	15|1 10|2 5|3 0|4
15 b. h	16 cis. d	17 dis. e	18 fis —	19 g. gis	20 a u. s. w.

oder 17 : 3.

10|1 4|2	11|1 5|2	12|1 6|2 0|3	13|1 7|2 1|3	14|1 8|2 2|3
16 c. cis	17 dis	18 f	19 g —	20 gis. a u. s. w.

oder 20 : 3.

10|1 3|2	11|1 4|2	12|1 5|2	13|1 6|2	14|1 7|2 0|3
17 d +	18 e +	19 fis +	20 gis	21 a. b u. s. w.

f) Bei dem Verhältniss der Durchmesser wie 3 : 2 oder $1 : \frac{2}{3}$ treffen die Töne der Schwingungsarten, wo ein hier als 2 Längenlinien gerechneter länglicher Kreis vorhanden ist, also 0|2, 1|2, 2|2, 3|2 u. s. w. mit den

156) *Chladni:* Akust. S. 177.

Tönen der Schwingungsarten mit blossen Querlinien, von der zweiten solchen Schwingungsart an gerechnet, also mit 3|0, 4|0, 5|0 u. s. w. zusammen.

g) Vergleicht man die Töne der ersten horizontalen Abtheilung 1) *unter sich*, so erkennt man, dass wenigstens in den 4 ersten senkrechten Reihen die Töne, von dem einer kreisrunden Scheibe an gerechnet, bei der allmäligen Verkleinerung des kürzern Durchmessers bei dem dort zu unterst stehenden Verhältnisse höchstens um eine grosse Terz sich erhöht haben. — Vergleicht man die Töne dieser Schwingungsarten, wo bloss Querlinien vorhanden sind, 2) *mit denen der Schwingungsarten, wo ausser einer oder mehreren Querlinien zugleich eine Längenlinie vorhanden ist*, wie sie die zweite, zur Linken mit 1 bezeichnete horizontale Abtheilung enthält, so findet man, dass sie sich von den letztern, bei allmäliger Verkleinerung des einen Durchmessers, nur nach und nach, und zwar in den tiefern Tönen zuerst, absondern. — Die Tonverhältnisse dieser Reihe, welche an einer runden Scheibe mit den Quadraten von 2, 3, 4, 5 u. s. w. übereinkommen, gehen hier etwas weiter aus einander ([157]).

h) Vergleicht man die Töne der zweiten, links mit 1 bezeichneten, horizontalen Reihe, nämlich der Schwingungsarten 1|1, 2|1, 3|1 u. s. w., so bemerkt man, dass sie, die anfangs eben dieselben waren wie bei der ersten Reihe, bei zunehmender Verminderung des einen Durchmessers nach und nach etwas enger werden, und endlich anfangs in den tiefern, nachher auch immer weiter in den höhern Tönen in die Verhältnisse der natürlichen Zahlenfolge, wie sie oben bei den Saiten (S. 110.) aufgestellt sind, übergehen. Bei dem

157) *Chladni*: Akust. S. 183.

Verhältnisse der Durchmesser 11 : 3 sind die beiden ersten Töne, bei dem Verhältnisse 14 : 3 die drei ersten, bei 17 : 3 die vier ersten, bei 20 : 3 die fünf ersten Töne mit dieser Zahlenfolge übereinstimmend, die übrigen aber weiter aus einander. — Der Ton der ersten Schwingungsart dieser Reihe, nämlich der Schwingungsart 1|1, deren Klangfigur ein von den beiden Durchmessern gebildetes Kreuz ist, nimmt allemal beinahe in eben demselben Verhältnisse an Höhe zu, in welchem der eine Durchmesser vermindert wird ([158]).

i) Vergleicht man die erste senkrechte, mit 0 überschriebene Reihe, welche die Schwingungsarten enthält, wo bloss in die Länge gehende Knotenlinien, einen Kreis zu 2 solchen Linien gerechnet, vorhanden sind, also 0|2, 0|3, 0|4 u. s. w. 1) *unter sich*, so nimmt man wahr, dass bei Verminderung des einen Durchmessers die Höhe der Töne um weit mehr, als die Verminderung selbst, jedoch weniger als die Quadrate derselben zunimmt. Unter sich haben diese Töne ungefähr eben die Verhältnisse, wie die Töne der Schwingungsarten mit blossen Querlinien, nur sind sie allemal weit höher. 2) Ein *Vergleich dieser Reihe mit der obigen horizontalen*, zur Linken mit 0 bezeichneten *Reihe* 2|0, 3|0, 4|0 u. s. w. zeigt, dass, wenn die beiden Durchmesser um etwas mehr als 5 : 4 und etwas weniger als 4 : 3 verschieden sind, die Töne der Reihe 0|2, 0|3, 0|4 u. s. w. um eine Octave höher sind; bei einer Verschiedenheit der Durchmesser wie 2 : 1 um 2 Octaven höher; bei einer Verschiedenheit der Durchmesser, die um etwas weniges geringer als 3 : 1 ist, um 3 Octaven höher, und wenn die Durchmesser um etwas mehr als 4 : 1 verschieden sind, um 4 Octaven

158) *Chladni*: Akust. S. 163.

höher sind als die Töne der Reihe 2|0, 3|0, 4|0 u. s. w. ([159]).

Diesen Bemerkungen, wobei wir die Schwingungsarten elliptischer Scheiben für sich allein betrachteten, fügen wir noch einige andere bei

2) *über die Schwingungsarten dieser Scheiben, verglichen mit denen kreisrunder.*

Chladni ([160]) macht darauf aufmerksam, dass die Töne der Schwingungsarten, wo eine Längenlinie nebst einer oder mehreren Querlinien erscheint, also 1|1, 2|1, 3|1, 4|1 u. s. w. bei elliptischen Scheiben, deren beide Durchmesser zu einander wie 5 : 3, 8 : 3, 11 : 3 sich verhalten, mit den Tönen derjenigen Schwingungsarten kreisrunder Scheiben, wobei eine gewisse Anzahl von Kreislinien ohne oder zugleich mit durchgehenden Linien vorhanden sind, theils übereinstimmen, theils ihnen doch sehr nahe kommen. Bezeichnen wir die Kreislinien der letztern Scheiben wie oben durch römische Zahlen, so lässt sich jene Übereinstimmung specieller so bezeichnen: die genannten Schwingungsarten elliptischer Scheiben sind von Seiten der Töne bei dem Verhältniss 5 : 3 = I der kreisrunden,
» » » 8 : 3 = II » » ,
» » » 11 : 3 = III » » .

Um diese Übereinstimmung anschaulicher zu machen, stellen wir die Töne der angegebenen Schwingungsarten der elliptischen Scheiben, deren Durchmesser zu einander die eben bezeichneten Verhältnisse haben, mit den Tönen der genannten Schwingungsarten kreisrunder Scheiben hier zusammen, dabei noch bemerkend, dass, wie Chladni selbst sagt, die Angaben von beiderlei Tönen mehr ungefähr als ganz genau sind.

---

159) *Chladni*: Akust. S. 183 f. 160) N. Beytr. S. 62 f.

Töne jener Schwingungsarten ellipt. Scheiben bei dem Verhältniss 5 : 3	Gis	a +	$\bar{g}$ —	$\bar{\bar{d}}$ —	$\bar{\bar{gis}}$ —	$\bar{\bar{\bar{cis}}}$ —	$\bar{\bar{\bar{f}}}$ +
Töne kreisrunder Scheiben bei den Schwingungsarten 0|I, 1|I, 2|I, 3|I, 4|I u. s. w.	Gis	b	$\bar{g}$	$\bar{\bar{d}}$. $\bar{\bar{dis}}$	$\bar{\bar{gis}}$	$\bar{\bar{cis}}$	$\bar{\bar{e}}$. $\bar{\bar{\bar{f}}}$

Weiterhin scheinen beide Reihen mehr von einander abzuweichen.

Töne jener Schwingungsarten ellipt. Scheiben bei dem Verhältniss 8 : 3	d	$\bar{d}$ +	$\bar{h}$ —	$\bar{\bar{\bar{f}}}$	$\bar{\bar{b}}$ +	$\bar{\bar{dis}}$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{\bar{h}}}$ —	$\bar{\bar{\bar{\bar{d}}}}$
Töne kreisrunder Scheiben bei den Schwingungsarten 0|II, 1|II, 2|II u. s. w.			($\bar{gis}$ +)	$\bar{e}$ +	$\bar{\bar{b}}$	$\bar{\bar{dis}}$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{\bar{b}}}$. $\bar{\bar{\bar{h}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{cis}}}}$

Der erste Ton dieser zweiten Reihe, $\bar{gis}$ +, stimmt nicht mit dem über ihm stehenden zusammen, und die Übereinstimmung fängt erst mit dem zweiten Tone an.

Töne jener Schwingungsarten ellipt. Scheiben bei dem Verhältniss 11 : 3	a	$\bar{a}$	$\bar{\bar{c}}$. $\bar{\bar{f}}$	$\bar{\bar{b}}$ +	$\bar{\bar{\bar{dis}}}$ +	$\bar{\bar{\bar{gis}}}$ —	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{dis}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{fis}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{gis}}}}$. $\bar{\bar{\bar{\bar{a}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{h}}}}$
Töne kreisrunder Scheiben bei den Schwingungsarten 0|III, 1|III, 2|III u. s. w.				$\bar{\bar{b}}$. $\bar{\bar{\bar{h}}}$	$\bar{\bar{\bar{e}}}$ +	$\bar{\bar{\bar{gis}}}$. $\bar{\bar{\bar{a}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{dis}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{fis}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{gis}}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{b}}}}$

Anmerkung. Alles, was in dem Bisherigen von den Schwingungsarten elliptischer Scheiben gesagt ist, bezieht sich nur auf solche Scheiben, die nach allen Dimensionen regelmässig sind. An Scheiben hingegen, die in Hinsicht der Gestalt nicht ganz regelmässig und nicht überall von gleicher Dicke sind, findet man am meisten bei den Schwingungsarten, wo bloss Querlinien vorhanden sind, wie auch sonst bei den etwas einfachern Schwingungsarten 1\|1, 0\|2 u. s. w. merkliche Abweichungen von den hier angegebenen Tonverhältnissen. S. Chladni S. 184. Anm. — Savart erwähnt in s. oben bei den heterogenen Kreisscheiben oft angeführten Abh.: »Untersuchung über die Elasticität der regelmässig krystallisirten Körper«, in Poggendorff's

Annal. Bd. 16. (92.) S. 209. Folgendes über die Gestaltung einer aus diametralen Knotenlinien bestehenden Klangfigur bei einer *nicht symmetrischen* elliptischen Scheibe: » Auf einer solchen kann das System zweier sich rechtwinkelig schneidender Knotenlinien nur eine einzige Lage annehmen, nämlich auf den Axen der Ellipse. Es gibt indess eine zweite Lage, worin die diametrale Theilungsart möglich ist; allein dann wird sie in ihrer Form geändert, und den beiden Zweigen einer Hyperbel ähnlich, deren Hauptaxe der grossen Axe der Ellipse entspricht; auch ist die Zahl der Schwingungen im letztern Falle kleiner als im erstern, desto kleiner, je verschiedener die Axen der Ellipsen sind.«

Es bleiben, nachdem wir so die Schwingungsarten *geradliniger* und *krummliniger* Scheiben betrachtet haben, noch übrig

cc) *Schwingungsarten von Scheiben, die theils gerad-, theils krummlinig sind.*

Von den verschiedenen hier möglichen Vereinigungen von beiderlei Linien erwähne ich vor Allem die von Chladni untersuchten

Schwingungsarten halbrunder Scheiben.

Bei diesen zeigen sich die Knotenlinien so, dass sie entweder als *durchgehende Linien* (welche auf einen Halbmesser der Scheibe Beziehung haben, wenn sie sich auch etwas verzerrt zeigen), oder als *Halbkreise* anzusehen sind. Die meisten Figuren, besonders die, wo Halbkreise sich zeigen, sind so beschaffen, dass, wenn man 2 gleiche Figuren an gleich grossen Scheiben zusammenstellt, eine Figur erscheint, die sich auch auf einer ganz runden Scheibe darstellen lässt. Die Tonverhältnisse halbrunder Scheiben sind, wenn man c als ihren tiefsten Ton ansieht, bei ihren verschiedenen Schwingungsarten ungefähr die der folgenden Tabelle, bei welcher die obenan stehende horizontale Zahlenreihe die Knotenlinien, welche auf Halbmesser Beziehung haben, die zur Linken stehende senkrechte Zahlenreihe aber die Halbkreise anzeigt.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0				f	$\overline{dis}$ +	$\overline{\overline{c}}$ —	$\overline{\overline{fis}}$	$\overline{\overline{h}}$
1	c	$\overline{dis}$ +	$\overline{\overline{c}}$ +	$\overline{\overline{gis}}$	$\overline{\overline{\overline{d}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{g}}}$	$\overline{\overline{\overline{h}}}$	
2	$\overline{\overline{d}}$ +	$\overline{\overline{b}}$	$\overline{\overline{\overline{e}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{a}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{cis}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}$		
3	$\overline{\overline{\overline{f}}}$	$\overline{\overline{\overline{b}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{d}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\overline{fis}}}}$				
4	$\overline{\overline{\overline{\overline{dis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{g}}}}$						

Die Töne der Schwingungsarten, wo bloss auf Halbmesser sich beziehende Linien sich zeigen, sind von den Quadraten der Zahlen 3, 4, 5, 6 u. s. w. nicht sehr verschieden ([161]).

Auch an Scheiben, deren Gestalt ein *Quadrant*, oder ein *Sextant*, oder *überhaupt ein Theil einer runden Scheibe* ist, zeigen sich viele Figuren so, dass sie einen Theil derjenigen ausmachen, die sich auf einer runden Scheibe hervorbringen lassen. Die Klangfiguren haben meistens auch Beziehung auf Theile von Kreisen, und auf Linien, die im Durchmesser oder im Halbmesser gehen ([162]).

Diesen bis jetzt nur immer auf *besondere Arten gerader Scheiben* sich beziehenden Erläuterungen fügen wir noch folgende Bemerkungen bei, die auf *gerade Scheiben überhaupt* Bezug haben.

1) *Über die Schwingungen gerader Scheiben überhaupt.*

a) Alles, was bisher über diese Schwingungen, insbesondere die transversalen und deren Versichtbarungen, die Klangfiguren, gesagt ist, gilt von denjenigen Schwingungs- oder Theilungsarten, von denen die Höhe des Tones abhängt. Gleichwie aber bei tropfbar flüssigen Körpern auf den grössern Wellen eine unendliche

161) *Chladni* S. 188 f. 162) *Chladni* S. 189.

Menge kleinerer vorhanden sind, so besteht auch bei schwingenden festen Körpern neben der grössern, den Ton bestimmenden Abtheilung derselben, gleichzeitig noch eine unendliche Menge kleinerer Unterabtheilungen, durch welche aber kein für uns hörbarer Ton erzeugt wird. Versichtbart werden diese, wenn man eine horizontal gehaltene Platte mit einer dünnen Schicht eines tropfbar flüssigen Körpers, z. B. mit einer dünnen Wasserschicht, bedeckt und sie dann zum Tönen bringt. Jene kleinern Unterabtheilungen des schwingenden Körpers zeigen sich dann auf der Flüssigkeit wie ein feines Netz. Bei den tiefern Tönen ist es weiter, bei den höhern enger, bei dem höchsten, den die Platte geben kann, gleicht es dem feinsten Gewebe von der regelmässigsten Bildung. Versuche dieser Art sind zuerst von Örstädt, Wheatstone, Savart und Faraday angestellt (163).

Anmerkung. Die Gebrüder H. und W. Weber haben in *tropfbaren Flüssigkeiten* eine ähnliche Schwingung erregt, wie sie tönenden Scheiben zukommt, welche Chladni'sche Klangfiguren bilden, und beweisen dadurch, dass auch bei flächenförmigen Körpern die stehende Schwingung durch Begegnung von Wellen zu Stande komme (s. Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 295 f.). Ausser den Untersuchungen dieser beiden berühmten Forscher über die Schwingungen tropfbarer Flüssigkeiten, die in ihrer Wellenlehre enthalten sind, müssen die Beobachtungen Savart's und Faraday's erwähnt werden, deren erstere man in Poggendorff's Annal. Bd. 29. (105.) S. 356 ff., letztere ebend. Bd. 26. (102.) S. 216 ff. findet.

b) So wie bei den transversal schwingenden Stäben die Schwingungen eines freien Endes sich dadurch versicht-

---

163) S. *W. Weber* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 295. — *Baumgartner* S. 263. — *Wheatstone*: »Neue Versuche über den Schall«, in jenem Jahrb. Bd. 12. (42.) S. 186 ff. — *Faraday*: »Über die Formen und Zustände, welche Flüssigkeiten auf vibrirenden Flächen annehmen«, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 220 ff.

baren lassen, dass man dasselbe in eine tropfbare Flüssigkeit während des Schwingens hält, wie z. B. Faraday dergleichen Versuche mit einer Stimmgabel anstellte, so lassen sich auch die Schwingungen eines freien Endes einer Platte in tropfbaren Flüssigkeiten versichtbaren, indem man sie entweder ganz hinein stellt, wie Savart ([164]) gethan, oder nur mit dem einen freien Ende senkrecht hinein hält, oder auch die Platte selbst nicht unmittelbar, sondern mittelbar durch eine an dem freien Ende der horizontal gehaltenen Platte senkrecht befestigte kleine Platte oder Kork mit der tropfbaren Flüssigkeit in Berührung bringt. Die beiden letztern Verfahrungsarten hat Faraday ([165]) angewandt. Die Schwingungen jenes Endes bilden hierbei in der Flüssigkeit regelmässige Riffe oder Radien.

2) *Über die Töne gerader Scheiben überhaupt.*

Hier wollen wir zweierlei erwähnen:

a) Eine *Coëxistenz mehrerer Töne* kann bei Scheiben von mancherlei Art sich zeigen, weil bei allen diesen mehrere Schwingungsarten zugleich vorhanden sein können, deren jede den ihr entsprechenden Ton erzeugt. Hieraus aber folgt, dass diese Töne nie andere Verhältnisse haben können, als oben bei den Schwingungsarten der einzelnen Scheibenarten angegeben sind, und dass sie daher, wie man aus den obigen Tabellen ersehen kann, gewöhnlich unharmonisch sein werden. Man vernimmt ein solches Gemisch von Tönen, wenn man eine beliebig gestaltete Scheibe an irgend einer Stelle hält und anschlägt. Auch beim Streichen mit dem Violinbogen hört man öfters mehr als Einen Ton zugleich, wenn nämlich die feste Stelle, wo man hält,

---

164) In den Annales de chimie et de physique, par *Gay-Lussac* et *Arago*. Tome XXV p. 39 sq. und Planche I. Fig. 32—34. (in *Schweigger*'s Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 413 ff und Tab. III. Fig. 27—29.).

165) S. *Poggendorff*'s Annal. Bd. 26. (102.) S. 212 ff.

und die sich bewegende Stelle, wo man streicht, mehr als Einer Schwingungsart zukommen, und diese Schwingungsarten daher dann insgesammt dadurch hervorgerufen werden. Es erscheint alsdann meistens keine bestimmte Klangfigur und kein reiner Ton, bis man noch eine oder mehrere Stellen zugleich berührt, die bei der einen, aber sonst bei keiner andern Schwingungsart in Ruhe sein können, und dadurch die andern Schwingungsarten nebst ihren Tönen ausschliesst ([166]).

b) In Hinsicht der *Verbreitung des Tones* dünner gerader Scheiben bemerkt W. Weber, dass derselbe in der auf die vordere oder hintere Fläche der Scheibe senkrechten Richtung viel weiter und stärker gehört werde, als nach den Seitenrichtungen. Dieses erklärt er daraus, dass bei schwingenden dünnen Scheiben die Aufhebung der beiden von ihrer Vorder- und Hinterseite ausgehenden Wellenzüge, wenn die Scheibe nur von irgend beträchtlicher Ausdehnung ist, in der auf die Scheibe senkrechten Richtung, weder nach vorn, noch nach hinten Statt finden kann, aber wohl nach den Seitenrichtungen eintritt ([167]).

3) *Über den musikalisch praktischen Gebrauch gerader Scheiben.*

a) In unsern Gegenden möchte der einzige musikalische Gebrauch der Scheiben der sein, dass man zu der schon § 20. S. 184. erwähnten *Strohfiedel* statt der schmälern Stäbe, bisweilen etwas breitere rechteckige Streifen von Holz, Metall oder Glas anwendet, welche mit 2 Klöppeln in ihrer Mitte geschlagen, oder auch, wenn man will, mit einer Tastatur gespielt werden können ([168]).

---

166) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 205. 167) S. s. Abh.: »Über Unterbrechungen der Schallstrahlen u. s. w.«, in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 428 f. 168) *Chladni* S. 191.

b) In China bedient man sich eines musikalischen Instrumentes, welches *Kĭng* ([169]) genannt wird, und aus 16 oder mehreren Scheiben besteht, die mittelst eines hineingebohrten Loches aufgehängt sind und mit Klöppeln geschlagen werden. Ihre Gestalt und Materie ist verschieden. Nach Chladni's Angabe ([170]) sind sie von Glas oder einer basaltartigen schwärzlichen Steinart gebildet, nach du Halde ([171]) aber von dünnem Bleche.

Ausser diesen würden sowohl die Metallplatten der Zungenpfeifen und der ihnen ähnlich gebauten Blasinstrumente und der Mundharmonika, als auch das javanesische Instrument, welches *Génder* genannt wird, zu erwähnen sein, wenn wir nicht allen diesen wegen ihrer merkwürdigen Eigenthümlichkeiten einen eigenen Paragraph widmen wollten (s. § 27.).

§ 25.

B. Schwingungsarten krummer Flächen.

Von den ihrer Gestalt nach hieher gehörenden Körpern können wir, bei der grossen Mannichfaltigkeit derselben,

---

169) Dieses ist die genauere, von (*Basile de Glemona*) Dictionnaire Chinois publié par *de Guignes*. (Paris, 1813. fol.) p. 486. Nr. 6944. vorgeschriebene Schreibweise statt der schlichtern *King*, wie *Chladni* S. 191. und N. Beytr. S. 72. es schreibt. Es ist zu unterscheiden vom *Kĭn*, welches (ebend. p. 419. Nr. 5955.) erklärt wird durch quoddam instrumentum quod digitorum extremo pulsatur. *Du Halde* bemerkt über das letztere Instrument nur, dass es vom Kaiser *Fo hi* erfunden sei (oder, wie es dafür heissen müsste, dass diesem die Erfindung desselben, wie so vieles Andere, zugeschrieben werde) und in China sehr hoch gehalten werde; es sei oben rund und unten platt (s. dess. Ausführliche Beschreibung des Chinesischen Reichs und der grossen Tartarey. Aus dem Französischen übers. I. Thl. (Rostock, Koppe. 1747. 4.) S. 445.). 170) N. Beytr. S. 72. In s. Akust. S. 191. gibt er eine schiefrige Steinart als Materie dieser Scheiben an. Von dem, was im angeführten Dictionnaire Chin. p. 486. Nr. 6944. über dieses Kĭng gesagt ist, erwähne ich nur: »Instrumentum musicum petris sonoris confectum; tabula lapidea, qua suspensa utuntur pro campana.« Beiläufig bemerke ich, dass man ausser den von *Chladni* S. 192. genannten Schriften über chinesische Musik auch etwas in *du Halde*'s angef. Beschreibung Thl. III. (Rostock 1749.) S. 349. und einen Aufs. darüber in *Jul. Klaproth*'s Asiatisch. Magazin. (Weimar, 1802.) Bd. I. S. 61 f. findet. 171) A. a. O. Thl. I. S. 446. sagt er nämlich bei Erklärung des Wortes *King*: »2) Ein musikalisches Instrument, welches in einem flachen und dünnen Blech bestehet, worauf man mit einem hölzernen Hämmerchen schläget.«

nur folgende hier erläutern: *cylindrische Röhren*, *Glocken* und *Kugeln*.

1) *Schwingungsarten cylindrischer Röhren.*

a) *Primäre Schwingungen.*

Unter den verschiedenen Arten derselben sind bis jetzt, meines Wissens, nur die *longitudinalen* und *drehenden* untersucht.

aa) *Longitudinalschwingungen einer cylindrischen Röhre.*

Diese sind nach zweierlei Haltungsweisen, der an beiden Enden freien und der an einem Ende festen, erforscht.

α) *Schwingungen eines an beiden Enden freien hohlen Cylinders.*

Diese sind namentlich von Savart und H. und W. Weber geprüft.

αα) *Erregung derselben.*

Man hält, um diese Schwingungen zu erregen, den Cylinder entweder mit 2 Fingern in seiner Mitte, oder umgibt ihn an dieser Stelle mit einem einige Linien breiten Tuchriemen aus mehrfach zusammengelegtem Tuche (den man mit etwas Pflaster an der innern Seite bestrichen, damit er an der Glasröhre hafte, ohne sie zu drücken), näht dann die beiden freien Enden des Tuchriemens zusammen und klemmt sie in einen Schraubstock, so dass die Röhre horizontal ruht, ohne an den Schraubstock zu stossen. Hierauf streicht man sie in der Richtung ihrer Länge mit einem sehr nassen Tuchlappen. Gleichgültig ist dabei, ob man bei diesem Streichen nur 2 gegenüber liegende Fasern, oder ob man die ganze Peripherie der Röhre mit dem Tuchlappen berührt. Man erreicht seinen Zweck auch, wenn man sie mit einem Finger an einer einzigen Faser der Länge nach streicht ([1]).

1) S. Annales de chimie et de physique par *Gay-Lussac* et *Arago*. Tome XXV. p. 225 sqq. und *Schweigger's* Jahrb. Bd. 11. (44.) S. 390. Bd. 15. (45.) S. 299. 301.

ββ) *Beschaffenheit der Schwingungen.*

Bei dieser Schwingungsrichtung findet bei der Röhre abwechselnd Verdichtung und Ausdehnung in der Richtung ihrer Axe Statt. Aus einer Vergleichung der Beobachtungen Savart's ([2]), Weber's ([3]) und Stern's ([4]) ergibt sich aber, dass eine *doppelte* Bewegung an einer so schwingenden Röhre Statt findet. Bei der genauern Bezeichnung beider beschränken wir uns auf die einfache Schwingungsart, wobei die Röhre ihren möglichst tiefsten Ton gibt.

1) Es zeigt sich eine starke *Bewegung der Theilchen von beiden Enden nach der Mitte hin und von da wieder zurück, die der Axe der Röhre fast parallel ist.* Denn

a) in die Röhre gestreuter *Sand* ([5]) bewegt sich zum Theil vor- und rückwärts entweder in der Bewegungsrichtung des nassen Tuchlappens, womit man reibt, und kehrt dann, wenn der Tuchlappen einen gewissen Punkt seiner Vorwärtsbewegung überschreitet, mit desto grösserer Heftigkeit an ihre vorige Stelle zurück, je heftiger und schneller gerieben wird, oder er bewegt sich umgekehrt erst gegen den Tuchlappen, dann mit demselben. Die Grösse dieser Bewegung hängt sehr von der Stärke und Schnelligkeit des Reibens ab. Bei diesem Versuche Weber's wurde die Röhre horizontal gehalten.

b) Wenn man eine 4 bis 6 Fuss lange, cylindrische Glasröhre (von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ Par. Lin. dickem Glase und 3 bis 6 Lin. Durchmesser im Lichten) nimmt, das eine Ende mit einem *Stöpsel* verschliesst, den man unmittelbar am Glase abschneidet, die Röhre verti-

---

2) S. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 390 ff. 3) Ebend. Bd. 15. (45.) S. 291 ff. 298 ff. und Bd. 23. (53.) S. 308 f. 4) *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 1. (61.) S. 264. und daraus in *Fechner's* Repert. I. S. 65. 5) Dieser darf aber nicht zu fein sein, damit er nicht an der Oberfläche hängen bleibt.

cal, das verschlossene Ende abwärts gekehrt, mit der einen Hand locker in ihrer Mitte hält und nun mit einem sehr nassen Tuchlappen die obere Hälfte der Röhre von oben nach unten streicht, so dass sie sehr stark den longitudinalen Grundton gibt, so rückt der Stöpsel in die Höhe, und zwar steigt er um so schneller, je stärker die Röhre tönt, bis er in der Mitte der Röhre, wo sich der Schwingungsknoten befindet, stehen bleibt. Selbst wenn die Glasröhre sehr schwach conisch gestaltet ist, vermag der Stöpsel vom untern Ende aus in die Höhe zu steigen. Diese durch die Schwingungsrichtung der sich bewegenden Theilchen dem Stöpsel ertheilte Steigkraft ist so gross, dass, wenn man auf ihn eine Wassersäule von mehrern Fuss Höhe giesst und den Versuch wiederholt, der Stöpsel die ganze Wassersäule mit sich in die Höhe hebt, wie W. Weber's Versuche gezeigt haben. Der longitudinale Grundton der hierbei angewandten Glasröhre war etwas höher als $\bar{\bar{b}}$ und etwas tiefer als $\bar{\bar{h}}$.

c) Fasst man eine solche Röhre in der Mitte zwischen 2 Fingern, hält sie vertical und bringt einen *zusammengerollten Streifen von starkem Papier* in die untere Hälfte der Röhre, so wird er aufwärts steigen, sobald man in der obern oder untern Hälfte der Röhre abwärts streicht; bringt man dagegen unter denselben Umständen den Streifen in die obere Hälfte der Röhre, so wird er abwärts steigen, wie Stern's Versuche lehren.

d) Die bisher erwähnten Versuche geschahen mit Körpern, die im *Innern* der Röhre sich bewegten; aber auch solche, die an der *Aussenseite* derselben sich befinden, zeigen diese Bewegung, wie gleichfalls Stern dargethan hat. Man nehme einen starken

Papierstreifen und bohre in die Mitte ein Loch, so dass er eine gewisse Glasröhre genau umschliesst, so wird sich der Streifen, wenn man wie bei c. verfährt, auf dieselbe Weise bewegen, wie jener in der Röhre befindliche. Es ist auch nicht nöthig, dass man die Röhre vertical hält, sondern sie kann eben so gut geneigt oder horizontal sein.

2) Neben dieser Bewegung, die man, zur kürzern Bezeichnung, die *gerade* nennen kann, zeigt sich eine *krumme*, wenn man auf die horizontal gehaltene Röhre sehr schmale Papierringe hält, deren Durchmesser 3 bis 4 Mal grösser sind, als der des Cylinders, und sie längs desselben vertheilt, oder etwas Sand, der aber nicht zu fein sein darf, in die Röhre schüttet, sie darauf in die bezeichnete Schwingung versetzt und die Stellen sich merkt, auf welche sich Ringe oder Sand hinbewegen und liegen bleiben; dann die Röhre so dreht, dass eine andere Seite nach oben gekehrt ist, und sie nun abermals in dieselbe Schwingung versetzt, und die Stellen sich merkt, wohin Ringe oder Sand sich bewegen und liegen bleiben, und auf diese Weise so lange fortfährt, bis nach und nach jede Stelle der äussern und innern Peripherie einmal nach oben gekehrt war, und man die ruhenden Punkte derselben erkannt hat. Die krumme Knotenlinie aber, welche man durch dieses Verfahren sichtbar macht, kann von zweierlei Art sein:

a) eine *schraubenähnliche*, bei welcher der Winkel, den sie mit der Axe der Röhre bildet, nicht immer sich gleich bleibt. Auch hier finden wieder zweierlei Fälle Statt:

aa) entweder fängt eine solche schraubenförmige Linie in der Mitte der Röhre an, und ihre beiden Hälften gehen entweder beide rechts oder beide

links gewunden nach entgegengesetzten Enden der Röhre fort, so dass in diesem Falle eigentlich 2 schraubenförmige Linien vorhanden sind, und zwar umgekehrt gewundene, die eine rechts, die andere links, deren Enden in der Mitte der Röhre an gewissen Stellen aufhören, zwischen welchen ein unbewegter Raum sich befindet. Die Schraubenwindungen dieser Linien sind nicht gleichförmig, sondern bestehen absatzweise aus Stücken, die sich bald mehr bald weniger krümmen ([6]).

bb) oder es läuft eine solche absatzweise gewundene Linie von dem einen Ende durch die Mitte hindurch ununterbrochen bis zum andern Ende fort.

Savart hat nur die erstere Art von Linien beobachtet, und hält sie für die allein möglichen; die Gebr. Weber hingegen haben auch, und zwar noch öfter, die letztere Art von Linien bei ihren Versuchen beobachtet. Übrigens aber stimmen die Beobachtungen aller drei darin überein, dass

a) die ruhenden Punkte der untern Seite der Röhre denen der obern, und eben so die der innern Seite denen der entsprechenden äussern nicht gegenüber, sondern so liegen, dass ein Punkt der untern Seite fast der Mitte des Zwischenraums zwischen 2 ruhenden Punkten der entgegengesetzten obern (gleich viel welche man nach oben gekehrt haben mag) entspricht; und dass eben so jeder ruhende Punkt der innern Seite in der Mitte des Zwischenraums liegt, der zwischen 2 ruhenden Punkten der ihm entsprechenden äussern Seite ist, so dass die ruhenden Punkte der obern innern Seite den ruhenden Punkten der untern äussern entsprechen, und eben so

---

6) Man s. die Abbildungen in den Annal. a. a. O. Pl. 3. Fig. 81. 83. 86. und in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) Tab. II. Fig. 1. 3. 5. Bd. 15. (45.) Tab. IV. Fig. 11.

die obern äussern denen der untern innern ([7]). Weber drückt diese entgegengesetzte Lage der obern und der untern Seite so aus: es liege der *sammelnden Linie* der einen Seite auf der entgegengesetzten Seite eine *zerstreuende Linie* gegenüber ([8]).

b) Ferner haben sie alle bemerkt, dass der in die Röhre geschüttete Sand, wenn er beim allmäligen Drehen derselben an gewisse Stellen gekommen ist, in kleine runde Haufen sich concentrirt, auf andern Stellen dagegen, wohin er bei fortgesetztem Drehen der Röhre gekommen ist, sich in eine längliche und etwas schiefe Linie ausdehnt, welche zwischen 2 Abtheilungen sich befindet, die entgegengesetzte Bewegungen in der Richtung der Länge der Röhre haben; es werden dadurch die Sandkörner, welche diese Linie bilden, so vorwärts geschoben, dass sie eine Ellipse beschreiben ([9]). Sind nun die Knotenlinien so gestaltet, wie bei aa. angegeben ist, so bewegen sich die Sandkörner in einer solchen länglichen Linie, die zur Linken des Mittelpunktes der Röhre liegt, und in einer, die diesem Mittelpunkte zur Rechten liegt, nach entgegengesetzten Richtungen, indem sie, falls sie sich in der erstern rechtsum in der Ellipse herumdrehen, in der letztern linksum sich bewegen. Läuft aber die Knotenlinie so, wie bei bb. erwähnt ist, ununterbrochen fort, so ist die Richtung der elliptischen Bewegung bei allen Linien, wo sie Statt findet, die nämliche. Entfernter von der Mitte liegende Sandanhäufungen lassen

---

7) Wer sich davon mit Einem Blicke überzeugen will, betrachte die von *Savart* gegebene Abbildung in den Annales de chimie et de physique par *Gay-Lussac* et *Arago*. Tome XXV. Planche 3. Fig. 82. (in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) Tab. II. Fig. 2.).

8) In *Schweigger's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 298. 303.

9) S. d. Abbild. in d. Annal. a. a. O. Pl. 3. Fig. 84. (in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) Tab. II. Fig. 4.).

statt dieser Bewegung gewöhnlich bloss eine hüpfende Bewegung des Sandes sehen. — Um diese Bewegungen zu prüfen, kann man statt Sand auch ein einziges kleines Elfenbein-, oder Marmor-, oder Siegellackkügelchen in die Röhre bringen. Die Gebr. Weber beobachteten an einer Röhre, dass ein solches Kügelchen, so oft es auf der sammelnden Linie lag, sich rechtsherum (was auch die Richtung der elliptischen Bewegung des Sandhaufens war) bewegte; so oft es auf der zerstreuenden Linie lag, linksherum sich drehte; und so oft es sich der Mitte zwischen beiden nahe befand, entweder ohne sich zu drehen fortgeschoben wurde, oder unregelmässig abwechselnd bald links bald rechts gedreht wurde. Auch bei dem 1. c. erwähnten Streifen bemerkt man bei jenen Versuchen manchmal eine rotirende Bewegung.

b) So schraubenförmig um die Röhre gewunden und einander parallel sind indess die Linien, worauf der Sand gesammelt, und die, auf welchen er zerstreut wird, nur bei manchen Glasröhren gestaltet, vorzüglich bei langen. Bei kurzen, weiten und sehr regelmässig gebildeten Röhren sind die sammelnden Linien, nach welchen der Sand in 2 entgegengesetzten Richtungen hinflieht, *halbkreisförmige*, in regelmässigen Abständen von einander liegende, abwechselnd die obere, abwechselnd die untere Hälfte der Röhre umgebende Linien. Eben so gestaltet sind die Linien, von denen der Sand nach 2 entgegengesetzten Richtungen wegflieht. Die sammelnden und die zerstreuenden halbkreisförmigen Linien liegen an derselben Stelle der Röhre einander gegenüber, sich gegenseitig zu kreisförmigen Ringen ergänzend, und jede solche Röhre ist daher von einer gewissen Anzahl *ringförmiger* Linien umgeben, von deren jede in der einen

Hälfte sammelnd, in der andern Hälfte zerstreuend ist. Diese Beobachtungen haben nur die Gebr. Weber (10), nicht aber Savart gemacht, der, wie schon gesagt, die bei a. aa. bezeichneten Linien für die einzige Linienart solcher Röhren hält.

Savart hat bei solchen Röhren die 4 ersten Töne dieser Schwingungsrichtung hervorgebracht. Bei allen nahm er wahr, dass die ruhenden Linien sich schlangenförmig um den Cylinder drehen und dass die Richtung ihrer Drehung in der Mitte der Punkte, die man berühren muss, um den Ton zu erhalten, stets entgegengesetzt ist. — Fragt man nach dem Zusammenhange sowohl dieser *krummen* als auch der *geraden* Bewegung mit dem Tone, so kann man nur bei der letztern einen solchen in sofern erkennen, als dieselbe in engster Beziehung zu dem in der Mitte Statt findenden Schwingungsknoten steht, durch den die Röhre in 2 Hälften getheilt wird; eine Eintheilung, die als die tonbestimmende zu betrachten ist. Bei den Schraubenwindungen der sammelnden Linien dagegen kann man einen solchen Zusammenhang mit dem Tone nicht entdecken, denn obgleich es in manchen Fällen scheint, dass, wenn von 2 gleich langen Röhren die eine einen höhern Ton, die andere einen tiefern gibt, bei der den höhern Ton gebenden mehr Schraubenwindungen der sammelnden Linie gefunden würden (11), so sieht man doch andererseits, dass eine und dieselbe Röhre, wenn man statt ihres tiefsten Tones die höhere Octave desselben hervorbringt, nicht mehr Schraubenwindungen als bei dem erstern, ja selbst noch

10) *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 303 ff. und Tab. IV. Fig. 12. 13.

11) Von 2 bei diesen Versuchen von *Weber* gebrauchten Röhren, die beide 2 Fuss 11 Zoll 11 Linien lang waren, gab die eine, deren ganzer Durchmesser $8\frac{1}{3}$ Linien, deren lichter Durchmesser $7\frac{1}{3}$ Linien betrug, $\overline{\overline{\overline{b}}}$, und zeigte 5, selten 4 Sandanhäufungen; die andere, deren ganzer Durchmesser 4 Linien, deren lichter $1\frac{1}{3}$ Linien betrug, gab den Ton $\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$, und zeigte 6 bis 7 Sandanhäufungen; s. im angef. Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 292 f.

weniger als bei jenem zeigt, wie Savart's Abbildung der Linien, die bei beiden Tönen an einer Röhre entstehen, bezeugt ([12]). Vgl. was § 19. S. 139 f. hierüber gesagt ist.

β) *Schwingungen eines an einem Ende unbeweglich befestigten hohlen Cylinders.*

Man befestige einen kleinen Glascylinder von ungefähr einer Linie Durchmesser und 26 bis 30 Zoll Länge mit dem einen Ende in einem kleinen Loche, das man in ein Stückchen Holz gebohrt hat, und klemme dieses darauf zwischen den Zwingen eines Schraubstocks fest und zwar unbeweglich, damit der Ton rein hervortrete, und verfahre nun übrigens so, wie es bei *α. αα.* angegeben worden. Hat man einen reinen Ton erhalten, so nimmt man den kleinen Schraubstock in die eine Hand, und gibt dem Stabe eine horizontale Lage, vertheilt dann kleine Papierringe auf der ganzen Länge des Stabes, und erregt in ihm auf die gewöhnliche Weise, mittelst eines nassen Tuches, longitudinale Schwingungen. Die Papierringe bewegen sich jetzt auf die Stelle, welche auf dieser Seite des Cylinders während der Schwingung ruhen. Dreht man hierauf den Cylinder so, dass die untere Seite nach oben gekehrt ist, und erregt die Schwingung abermals, so nehmen die Papierringe andere Lagen an. Untersucht man so nach und nach alle Seiten, so erkennt man leicht, dass sämmtliche ruhende Punkte der Peripherie eine einzige schraubenförmige Knotenlinie bilden, die vom festen Ende ausgeht und ununterbrochen bis zum freien Ende fortläuft. So wie hier die diametral entgegengesetzten Stellen der Aussenseite in Hin-

---

12) S. Annal. a. a. O. Pl. 3. Fig. 81. 83. vgl. mit Fig. 86. (in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) Tab. II. Fig. 1. und 3. vgl. mit Fig. 5.), wo bei der höhern Octave des Grundtones eine halbe Windung weniger vorhanden ist als bei dem Grundtone. — Erwähnt kann hier zugleich werden, dass, als *Weber* von den Note 11. genannten 2 Röhren die erstere, 8½ Linien im Durchmesser haltende, um 1 Zoll 7 Linien verkürzt hatte, diese nun auch wie die andere $\overline{\overline{\overline{c}}}$ gab, aber nur 4 Sandanhäufungen zeigte, a. a. O. S. 293.

sicht der ruhenden Punkte verschieden sind, so besteht ohne Zweifel ein gleiches Verhältniss auch an der innern Seite des Cylinders an gegenüber liegenden Stellen, obgleich Savart, der die eben angeführten Beobachtungen gemacht hat ([13]), dieses nicht ausdrücklich erwähnt.

bb) *Drehende Schwingungen einer cylindrischen Röhre.*

α) *Ihre Erregung.*

Man befestigt die Röhre an ihrem einen Ende, oder hält sie an einer andern Stelle und umgibt sie in der Nähe des andern Endes mit einem nassen oder mit Colophoniumpulver bestreuten Lappen, drückt diesen mit 2 Fingern an diametral entgegengesetzten Stellen der Röhre an, und dreht ihn um die Peripherie der Röhre herum.

β) *Beschaffenheit der Schwingungen.*

Bei der so erregten drehenden Schwingung scheinen sich die einzelnen Punkte der Röhre in einer kreisförmigen Bahn um die Axe der Röhre hin- und zurückzudrehen, ähnlich hierin einem aufgehangenen, durch ein angehängtes Gewicht gespannten Faden, den man um seine Axe gedreht hat. Ihr tiefster Ton bei dieser Schwingungsart ist um eine Quinte tiefer als der tiefste ihrer Longitudinalschwingung. Bei den höhern (Flageolet-) Tönen theilt sich die Röhre in entgegengesetzt schwingende Abtheilungen, die durch Knotenlinien von einander getrennt sind. Diese Beobachtungen theilt W. Weber mit ([14]).

b) *Secundäre (transversale) Schwingungen.*

aa) *Ihre Erregung.*

Man fasst die Glasröhre in ihrer Mitte locker zwischen 2 Fingern, und schlägt sie senkrecht auf ihre Axe an.

---

13) S. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 398 f. 14) In jenem Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 286.

bb) *Beschaffenheit ihrer Schwingungen.*

Bei der durch jenes Verfahren hervorgebrachten Transversalschwingung beugt sich die Röhre abwechselnd auf entgegengesetzte Seiten ihrer ruhenden Axe, und die einzelnen Punkte der Röhre schwingen so hin und her, dass ihre Bahn einen rechten Winkel mit der Axe der ruhenden Röhre macht ([15]). Die Knotenlinien der äussern und innern Seite decken sich nicht, sondern fallen zwischen einander ([16]). Der Grundton dieser Schwingungsart ist oft 5 Octaven tiefer als der, welcher durch die longitudinale Schwingung entsteht. Beiderlei Schwingungsarten, longitudinale und transversale, können auch an einer Glasröhre gleichzeitig dadurch hervorgerufen werden, dass man sie an ihrem einen Ende in der Richtung ihrer Länge anstösst. Sie gibt dann einen doppelten, von jenen beiden Schwingungsarten herrührenden Ton ([17]).

Hier muss zugleich von den Schwingungen eines *gewöhnlichen Trinkglases* geredet werden, da dasselbe als ein an einem Ende verschlossener Cylinder zu betrachten ist. Überzieht man die innere und äussere Seite eines gewöhnlichen Trinkglases mit stark angefeuchtetem Sande (welches für die innere Seite sehr leicht geschieht durch Drehung des Glases um seine horizontal gelegte Axe, wobei der angefeuchtete Sand sich an die innere Seite des Gefässes anlegt), und setzt das Glas durch einen Violinbogen in Schwingung, so vertheilt sich der Sand in 4 oder 6, oder eine noch grössere, aber stets gerade Zahl langer, sehr spitzer Dreiecke, welche ihre Basis am Fusse, ihre Spitzen aber in dem Rande des Glases haben. Auf der äussern Seite erscheint eine gleich grosse Anzahl ruhender Stellen, welche aber zwischen den ruhenden der innern Seite liegen, nicht diese decken ([18]). Je 2 durch eine solche Kno-

---

15) S. *W. Weber* in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 285. 16) *Fechner:* Repert. I. S. 293. Anm. 17) *W. Weber* a. a. O. S. 295. 18) S. *Strehlke* in

tenlinie getrennte Theile schwingen stets abwechselnd nach entgegengesetzten Richtungen. — Wheatstone und Faraday haben die Schwingungen eines cylindrischen Glasgefässes mittelst hineingegossener tropfbarer Flüssigkeiten untersucht. Der Erstere sagt hierüber Folgendes ([19]): »Man giesse in ein cylindrisches Glasgefäss 3 Fluida, welche sich nicht mit einander mischen, z. B. Quecksilber, Wasser und Öle. Man setze nun den Apparat in Schwingung, so sieht man, dass sich auf der Oberfläche eines jeden Fluidums Figuren bilden, die denen ähnlich sind, welche man bei den correspondirenden Tönen auf der mit einer dünnen Wasserschicht bedeckten Scheibe beobachtete. Man stelle dieses Gefäss in ein anderes von grösseren Dimensionen und giesse in dieses ebenfalls Wasser, um die Undulationen seiner Oberfläche zu beachten, so sieht man auf der Oberfläche dieses Wassers dieselben Erscheinungen, als in dem innern Gefässe, selbst dann, wenn die Fluida in diesen beiden Gefässen ein verschiedenes Niveau haben sollten.« Faraday theilt hierüber folgende Beobachtungen mit ([20]): »Bekannt sind die Kräuselungen, welche sich auf Wasser in einem Gefässe erzeugen, wenn man einen angefeuchteten Finger auf dem Rande desselben herumführt. Das Glas theilt sich in 4 vibrirende Stücke, denen gegenüber die Kräuselungen am stärksten sind, und es sind, in Bezug auf einen horizontalen Durchschnitt, 4 Knotenpunkte in gleichen Abständen von einander vorhanden. Nimmt man zu dem Gefässe eine grosse Glasflasche, und sind die erzeugten Töne sanft, so zeigt die Wasserfläche Riffe an den Vibrationsmittelpunkten. Wird der Ton

---

Poggendorff's Annal. Bd. 4. (80.) S. 211. und die Abbildung Taf. IV. Fig. 22. *Strehlke* erwähnt hier zwar nur die Abtheilung des Glases in 4 oder 6 Theile; dieses kann sich aber auch, gleich einer Glocke, in eine noch grössere gerade Zahl von Theilen abtheilen, wie denn überhaupt, was bald darnach über die Schwingungen der Glocken wird gesagt werden, im Allgemeinen auch von einem solchen Glasgefässe gilt. 19) S. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 12. (42.) S. 186 f. 20) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 246.

lauter, so breiten sie sich rings um das Glas aus, und zuletzt zerfallen sie an den Vibrationsmittelpunkten in unregelmässige Kräuselungen.«

Anmerkung. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass man, was hier über die Schwingungen *cylindrischer Röhren*, sowohl der *offenen* als der *gedeckten* (dergleichen die Trinkgläser sind), gesagt ist, nicht verwechselt werden dürfe mit dem, was § 18. über die Schwingungen der *in solchen Röhren enthaltenen Luftsäulen* ist vorgetragen worden. Dort ist die *Luft* der *selbsttönende, die Tonhöhe bestimmende* Körper; der die Luftsäule umgebende Cylinder bedingt nur die *Stärke* und *Qualität des Tones*; hier dagegen ist der *Cylinder* der *selbsttönende, die Tonhöhe bestimmende* Körper.

2) *Schwingungsarten der Glocken.*

Von diesen sind, so viel ich weiss, bis jetzt nur die *secundären*, d. h. *transversalen* untersucht, und zwar auch hier am besten von Chladni ([21]), dem wir deshalb hierbei folgen.

a) *Erregung ihrer Schwingungen.*

Man erregt diese

1) entweder durch einen *Klöppel*, welcher im innern hohlen Raume der Glocke hängt, und durch Schwingen der Glocke oder auf andere Weise gegen die innere Seite derselben gestossen wird; oder durch einen *Hammer*, der entweder durch Menschenhand oder, wie gewöhnlich der Fall ist, durch einen Mechanismus ([22]) gegen die äussere oder innere Seite derselben geschlagen wird;

---

21) Akust. S. 192—198.

22) Dieser Mechanismus ist meistens der ganz gewöhnliche, wie ihn jede Uhrglocke zeigt. Als ein ungewöhnlicher verdient hier derjenige einer besondern Erwähnung, wo die *Electricität* die Bewegung des Hammers bewirkt. Dieses ist bei dem von dem Jesuiten *de la Borde* erfundenen Claviatur-Instrumente der Fall, welches, weil der Klöppel der Glocken, die hierbei die Töne geben, durch Electricität in Bewegung gesetzt wird, den Namen *Clavessin electrique* erhalten hat. Eine Beschreibung desselben findet man in *Forkel's* allgem. Litteratur der Musik. S. 261. und daraus in *Koch*: mus. Lex. u. d. W. S. 338 f.

2) oder durch einen *Violinbogen*, womit man sie senkrecht auf ihre Fläche streicht;

3) oder durch einen *nassen Finger*, womit man die Glocke in der Richtung ihres Umkreises reibt, oder den man, falls sie in eine drehende Bewegung versetzt ist, an sie anhält, damit sie selbst sich an ihm in jener Richtung reibe ([23]).

b) *Beschaffenheit ihrer Schwingungen.*

Um diese zur nähern Prüfung zu versichtbaren, kann man sich theils feuchten Sandes, den man auf die Oberfläche streut, theils einer tropfbaren Flüssigkeit bedienen, womit man die Glocke anfüllt oder zugleich umgibt. Sobald die letztere tönt, zeigt sich auf der Oberfläche der erstern ein Netz kleiner Wellen oder Riefen, welches so viele Abtheilungen zeigt, als die Zahl der Theile ist, in welche sich die Glocke bei der jedesmaligen Schwingung eintheilt ([24]). Um die so erregten Bewegungen dieser Flüssigkeit auf eine bleibendere Art sichtbar zu machen, streue man auf die Oberfläche der Flüssigkeit etwas Hexenmehl (pulvis lycopodii). Die Zahl der Theile, in welche eine schwingende Glocke sich eintheilt, ist mindestens 4. Sie kann sich aber auch in 6, 8 oder auch, wenn ihre Grösse und Dünnheit es gestattet, in eine noch grössere Zahl von Theilen eintheilen. Stets aber ist die Zahl ihrer Abtheilungen eine gerade. Die Knotenlinien, wodurch diese Theile

---

23) Diese letzte Erregungsweise ist aber nur bei solchen Glocken anwendbar, die aus Glas oder einer glasähnlichen Materie, z. B. Porzellan bestehen, oder die wenigstens eine glasartige Oberfläche haben. An metallenen Glocken, wenn sie auch noch so glatt sind, ist doch die Oberfläche nicht so beschaffen, dass ein nasser Finger auf diese Art gehörig haften könnte. Wollte man eine metallene Glocke auf diese Art zu schwingen nöthigen, so müsste die äussere Oberfläche nahe am Rande so glatt als möglich sein, und nicht benetzt, sondern sowohl selbst als auch der reibende Körper mit Geigenharz oder anderem Harzstaube bestrichen werden; bei solchem Verfahren würde aber der Klang weit rauher ausfallen, als bei dem Reiben einer gläsernen Glocke mit nassen Fingern, s. *Chladni* S. 194.

24) Ebend. S. 193. u. Tab. X. Fig. 252. 257. — *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 303. und Taf. I. Fig. 3. — *Baumgartner* S. 264.

von einander getrennt sind, durchschneiden sich alle oben am Stiele oder Halse der Glocke. Je 2 durch eine Knotenlinie getrennte Theile schwingen stets abwechselnd nach entgegengesetzten Richtungen, indem, während sich der eine einwärts beugt, der andere auswärts sich beugt ([25]). Werden die Schwingungen der Glocken auf die bei 1. und 2. angegebene Weise erregt, so bleiben die so entstandenen Abtheilungen während des Schwingens an derselben Stelle; werden sie dagegen auf die bei 3. bezeichnete Weise hervorgebracht, wie es bei einer um ihre Axe sich drehenden Harmonika-Glocke geschieht, so verändern die Abtheilungen jeden Augenblick ihre Stelle, und schieben sich um den ganzen Umfang der Glocke fort. So wie hierin, so unterscheiden sich die Erregungsweisen 1. und 2. von 3. auch dadurch, dass da, wo das Anschlagen oder das Streichen mit dem Violinbogen geschieht, ungefähr die Mitte eines schwingenden Theiles; bei jener Art der Reibung in der Richtung der Peripherie hingegen da, wo der Finger oder überhaupt der reibende Körper angehalten wird, eine feste Linie ist ([26]). Die Schwingungsarten und Töne sind übrigens bei allen 3 Erregungsweisen dieselben. Nimmt man c als den tiefsten Ton einer Glocke an, bei dessen Hervorbringung sie sich, dem Obigen zufolge, in 4 Theile eintheilt, so werden die möglichen Töne, die sie, jenachdem sie sich in 4, 6, 8, 10, 12 u. s. w. gleiche Theile abtheilt, hervorbringt, gewöhnlich folgende sein ([27]).

Zahl der Theile, in welche sich d. Gl. theilt	4	6	8	10	12
Töne	c	$\bar{d}$	$\bar{\bar{c}}$	$\bar{\bar{gis}}$ —	$\bar{\bar{\bar{d}}}$ —
Zahlen, mit deren Quadraten die Töne übereinkommen	2	3	4	5	6 u. s. w.

25) S. *Chladni's* Akust. Tab. X. Fig. 251. a. b. 256. a. b. 26) Ebend. S. 194. 27) Ebend. S. 196. Wie man zu verfahren habe, um diese verschiedenen Schwingungsarten und Töne einzeln an einer Glocke hervorzubringen, zeigt *Chladni* S. 193. 195 f.

Diese Tonfolge ist jedoch wegen Verschiedenheiten der Gestalt der Glocken, wie auch wegen Verschiedenheiten der Dicke nach dem Halse oder weiter nach dem Rande zu, manchen Veränderungen unterworfen, so dass z. B. der zweite Ton von dem ersten bei manchen Glocken kaum um eine Octave, bei andern auch wohl um eine Decime oder etwas mehr verschieden sein kann, in welchen Fällen auch die Abstände der übrigen Töne von einander verhältnissmässig mehr oder weniger verengert oder erweitert werden.

Diesem sind noch 2 Bemerkungen beizufügen:

1) über die *Coëxistenz mehrerer Töne.* Bei dem Anschlagen einer Glocke hört man zwar vorzüglich den tiefsten Ton, dessen sie fähig ist, aber ausserdem auch bei gehöriger Aufmerksamkeit gewöhnlich noch ein Gemisch von höhern, meistens sehr unharmonischen Tönen, weil durch jene Stösse mehrere Schwingungsarten zugleich hervorgerufen sind und gleichzeitig Statt finden. Man kann aber jeden Ton, der an einer Glocke Statt findet, einzeln hervorbringen, wenn man eine oder mehrere Stellen, auf welche bei der beabsichtigten Schwingungsart eine Knotenlinie fallen muss, mit den Fingern, oder auf eine andere Art hält, oder dämpft, und in der Mitte eines schwingenden Theiles die Glocke schlägt oder streicht ([28]).

2) Über die *Stärke und Weite der Hörbarkeit eines Glockentones.* Dass der Ton einer Glocke viel weniger mit der Entfernung abnimmt, als der Ton eines schwingenden Stabes oder einer Gabel, wenn er durch keine Resonanz verstärkt ist, erklärt W. Weber ([29]) auf folgende Weise: »Durch die Beugung der schwingenden Fläche bei einer Glocke wird bewirkt, dass

---

28) S. *Chladni's* Akust. S. 193. 205.

29) Im angef. Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 428.

die von der innern Fläche ausgehenden Schallwellen grösstentheils nicht augenblicklich nach aussen sich verbreiten, sondern erst nach einer mehrmaligen Reflexion von den gegenüber stehenden Wänden der Glocke. Dadurch aber wird bewirkt

a) dass bei Glocken nicht (wie bei Stäben) die beiden von der äussern und innern Fläche ausgehenden Wellenzüge sich aufheben;

b) dass durch die Durchkreuzung der Schallwellen im innern Raume der Glocke eine Resonanz der von der Glocke umfassten Luftmasse entstehen kann, so dass man von einer Glocke sagen kann, sie sei eine schwingende Kreisscheibe, die ihren Resonanzboden in sich enthalte. Denn nach Savart's Versuchen gibt es keine bessere Resonanz, als die einer von mehrern Seiten eingeschlossenen Luftmasse von angemessener Grösse.

3) *Schwingungsarten einer Kugel.*

Hierbei ist Poisson bis jetzt der erste und einzige Führer. Dieser hat nämlich die Knotenflächen und Töne einer Kugel bestimmt, in der alle Punkte, die gleich weit vom Mittelpunkte entfernt sind, in jedem Augenblick eine gleiche Bewegung in Richtung ihrer respectiven Radien besitzen ([30]). Seinen Untersuchungen zufolge hat die Kugel für den Grundton keine Knotenfläche; für den zweiten Ton eine einzige, deren Abstand vom Mittelpunkte 0,74150 des Radius, mithin ziemlich $\frac{3}{4}$ des Radius beträgt; bei ihrem dritten Tone hat sie 2, beim vierten 3 Knotenflächen, so dass die Zahl der jedem der folgenden so fortgezählten Töne entsprechenden Knotenflächen stets um 1 kleiner ist als die Zahl des Tones. Was aber die Gestalt der Kno-

30) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 13. (89.) S. 394. Diese Untersuchungen findet man in d. Mémoires de l'Acad. VIII. p. 419 sqq. und daraus in *Fechner's* Repert. I. S. 287 ff. 298.

tenflächen betrifft, so ist sie ganz verschieden von der, welche bei schwingenden Luftsäulen Statt findet. Bei diesen sind es gerade Flächen; bei der Kugel hingegen sind es sphärische, um den Mittelpunkt concentrische Flächen. Der Grundton einer Kugel verhält sich zu ihrem zweiten Tone = 1 : 2,364. Der letztere ist folglich um etwas mehr als eine übermässige None höher als der erstere.

Nach diesen Erläuterungen der Schwingungsarten krummer Flächen erwähnen wir noch den *musikalisch praktischen Gebrauch*, den man von gewissen Flächen dieser Art gemacht hat. Hieher gehören

1) die *Glocken*. Von diesen wird ein musikalischer Gebrauch gemacht bei folgenden Instrumenten:

   a) bei der *Harmonika*, einem Instrumente, bei welchem aus einer Art von gläsernen Glocken oder Schaalen, die mit Wasser befeuchtet und mittelst einer Welle um ihre Axe getrieben werden, durch sanftes Auflegen der ebenfalls befeuchteten Finger, ein äusserst schmelzender Ton, und zwar vom leisesten Hauche bis zu einer merklichen Stärke, gezogen werden kann ([31]).

   b) bei dem *Glockenspiele*. Dieses besteht aus einer gewissen Anzahl Glocken von verschiedener Grösse, die nach der diatonisch-chromatischen Tonleiter geordnet und eingestimmt sind, und entweder mittelst einer Claviatur auf eine dem Clavier ähnliche Art, oder auch nur mittelst einer Walze, die durch Gewichte getrieben wird, durch Hämmer zum Tönen gebracht werden. Es gibt dergleichen 1) auf den Thürmen öffentlicher Gebäude, 2) in den Orgeln ([32]),

---

31) Eine ausführlichere Beschreibung und kurze Geschichte dieses merkwürdigen Instrumentes, das der Americaner *Franklin* zwar nicht erfunden, aber wesentlich vervollkommnet hat, gibt *Koch*: mus. Lex. u. d. W. S. 738 ff. 32) Bei der Orgel heisst das Glockenspiel *Cymbel*, welcher Name indess bei der Orgel eine zweifache Bedeutung

3) als ein besonders dazu eingerichtetes Claviatur-Instrument, welches unter dem Namen *Carillon* bekannt ist, und 4) in den Stubenuhren ([33]).

Will man ausser den *eigentlich musikalischen Instrumenten*, in der bei uns üblichen Bedeutung, auch diejenigen hieher ziehen, welche mehr blosse *Schlag-Instrumente* sind, so würden namentlich folgende noch zu nennen sein:

2) die *Becken* (von den Alten *Paukencymbeln* genannt). Sie bestehen aus 2 Scheiben von Messing in der Grösse eines Tellers, die aber in der Mitte eine halbrunde Vertiefung oder ein Becken haben, an welchem an der Aussenseite ein Griff von Leder befestigt ist, vermittelst dessen sie mit beiden Händen gehalten und von einander abstreifend zusammengeschlagen werden. Sie waren schon bei den Hebräern und Griechen im Gebrauche. Bei uns bedient man sich derselben jetzt bloss bei der Janitscharenmusik ([34]).

3) Die *Castagnetten* (span. *Castanuelas*). Sie bestehen aus 2 kleinen, von sehr hartem Holze ausgehöhlten Becken, die so genau auf einander passen, wie die beiden Theile einer aufgesprengten und ausgeleerten welschen Nussschaale. Beide Theile werden mit einem Bande an dem Daumen befestigt, und die übrigen Finger dann schnell darauf abgeglitscht, so dass dadurch eine Art von Triller entsteht, die den Rhythmus des Gesanges oder Tanzes, wozu sie gebraucht werden, sehr fühlbar macht. Im Orient sind sie ein ganz ge-

---

hat. Einmal versteht man darunter den sogenannten *Stern*, an dessen Welle kleine Glöckchen, die man Cymbeln nennt, befestigt sind, die dadurch in Bewegung gesetzt werden, dass der aus einem dazu bestimmten Ventile hervordringende Wind das an der Welle befindliche Rad herumtreibt. Ausserdem bezeichnet jener Name eine gemischte Orgelstimme oder eine Mixtur von sehr kleinem Pfeifenwerke, s. *Koch* a. a. O. u. d. W. Cymbel S. 404. 33) S. *Koch* a. a. O. u. d. W. Glockenspiel S. 676 f. 34) Ebend. u. d. W. Becken. S. 229.

wöhnliches Frauenzimmer-Instrument; in Europa sind sie vorzüglich in Spanien gebräuchlich ([35]).

4) Das chinesische Instrument, welches in Frankreich *Tamtam*, in Deutschland, Dänemark u. s. w. *Gong-gong* genannt wird. Es ist aus Glockenmetall gegossen und hat ungefähr die Gestalt eines Tambourin oder eines Beckens. Der Durchmesser kann ungefähr $1\frac{1}{2}$ Fuss betragen; der Rand, welcher weit dicker ist als die mittlere Fläche, kann etwa $2\frac{1}{2}$ bis 3 Zoll hoch sein. Die Dicke des mittlern, flachen oder wenig convexen Theiles ist etwa $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{20}$ Zoll. Es wird mit einem Klöppel geschlagen, der mit einer weichen Materie überzogen ist. Der Klang ist sehr stark und mit einem lange nachhallenden Rasseln verbunden ([36]).

§ 26.

Schwingungserscheinungen beim Zusammenwirken zweier klingenden Körper.

Bevor wir die Schwingungsarten derjenigen musikalischen Instrumente, bei welchen 2 klingende Körper gemeinsam wirken, zu erläutern versuchen, was im folgenden Paragraphen geschehen wird, scheint es zweckmässig, über die Erscheinungen, welche in solchen Fällen sich zeigen, erst im Allgemeinen zu reden und Beispiele anzuführen, wo ein ähnlicher Vorgang wie in den nachher zu erläuternden Instrumenten Statt findet, um dadurch das bei diesen Vorzutragende vorzubereiten und verständlicher zu machen.

Zwei Körper, die entweder beide bereits schwingen, oder deren einer erst durch seine Schwingungen in dem

35) S. *Koch* a. a. O. u. d. W. Castagnetten S. 307 f. Eine Abbildung derselben findet man z. B. in *Forkel's* Allgem. Geschichte der Musik. Bd. I. (Leipzig, Schwickert 1788.) Tab. IV. Fig. 45.

36) *Chladni*: N. Beytr. S. 72 f. 90., wo man besonders auch über die Qualität der Masse dieses Instrumentes weitere Nachrichten findet; vgl. auch *Koch* a. a. O. u. d. W. Gong S. 677.

andern, den er unmittelbar oder mittelbar berührt, unter gewissen Verhältnissen ([1]) Schwingungen erregt, sind von Seiten ihres *Stoffes* und ihrer *Masse*

1) entweder einander *gleich*,
2) oder einander *ungleich*,
   a) entweder bloss *quantitativ*,
   b) oder bloss *qualitativ*,
   c) oder *quantitativ* und *qualitativ* zugleich.

Wollen wir sie von Seiten ihrer *Schwingungsarten* vergleichen, so müssen wir einen Unterschied machen zwischen der *Fähigkeit*, gewisse Schwingungsarten hervorzubringen, und ihrer *Neigung* dazu ([2]). Hiernach kann man folgende Fälle unterscheiden:

1) Beide Körper haben gleiche *Fähigkeit* und *Neigung* zu gewissen Schwingungsarten. Wird unter diesen Umständen die Schwingung des einen erst durch die des andern erregt, so sind die Schwingungen beider gleich. Tönen aber bereits beide, so sind wiederum 2 Fälle möglich:
   a) sie bringen *einerlei Ton* hervor,
   b) sie geben *verschiedene Töne*. Diese Verschiedenheit ist nicht im Widerspruch mit der vorausgesetzten Gleichheit der Neigung, noch weniger mit der Gleichheit der Fähigkeit, dieselben Schwingungsarten hervorzubringen. Denn ein Körper kann nicht bloss mehrerer Schwingungsarten fähig sein, sondern auch zu mehr als Einer derselben Neigung haben. Die Verschiedenheit beider können wir unter

---

1) Dass diese Erregung nicht unter allen Verhältnissen geschieht, erkennt man aus dem unter D. angeführten Falle. 2) Diesen Unterschied macht z. B. auch *Savart*, indem er sagt: bei den longitudinalen Schwingungsarten, die z. B. ein und derselbe starre Streifen machen könne, gebe es eine, die man die *freiwillige* (*spontané*) nennen könne, weil sie jeder Streifen gleichsam von selbst annehme, s. *Biot* II. S. 57. Vgl. was § 18. von dem Grundtone und den Beitönen mancher Blasinstrumente gesagt ist.

diesen Umständen nur eine *willkührliche* und *momentane* nennen.

2) Beide Körper haben zwar *Fähigkeit* zu gewissen Schwingungsarten, aber *nicht gleiche Neigung* zu ihnen.

3) Beide Körper haben *sehr ungleiche Fähigkeit* zu gewissen Schwingungsarten.

4) Ein Körper ist *ganz unfähig*, gewisse Schwingungsarten eines andern entweder überhaupt oder in der Stärke anzunehmen, dass ein Tönen erfolgen könnte.

Die Wichtigkeit dieses Gegenstandes erfordert, diese verschiedenen Fälle jetzt einzeln zu erläutern.

A. *Schwingungserscheinungen beim Zusammenwirken zweier Körper von gleicher Fähigkeit und Neigung zu gewissen Schwingungsarten.*

Hier haben wir folgende Fälle zu unterscheiden:

1) *Der eine Körper tönt, der andere aber wird erst durch jenen zum Mittönen gebracht.* Dann sind die Schwingungen des zweiten denen des erstern isochronisch, folglich auch sein Ton dem des erstern von Seiten der Höhe gleich. Beispielsweise führe ich hier an:

a) Eine schwingende *Saite* versetzt eine andere mit ihr in Einklang gestimmte *Saite*, sie mag in unmittelbarer oder mittelbarer Berührung mit ihr stehen, in Schwingung und veranlasst sie zum Hervorbringen desselben Tones (s. S. 58.). Dieses bewirkt aber nicht bloss der *Grundton* einer Saite, sondern auch die mit ihm zugleich erklingenden *Flageolettöne* bewirken an den ihnen entsprechenden Saiten ein Mittönen, wenn die Stimmung dieser Saiten nicht zu sehr von der mathematischen Reinheit (s. § 36.) abweicht (s. S. 60 f.); denn eine gewisse Abweichung von dieser findet bei der Stimmung nach der gleichschwebenden Temperatur (s. § 46.), mit Ausnahme der Octave, durchgängig Statt.

b) Ein schwingender elastischer *Stab* bringt die gespannten *Metallsaiten*, welche mit ihm im Einklang sind, zum Mittönen ([3]).

c) Eine tönende *Flöte* verursacht das Mitschwingen der dem jedesmaligen Tone entsprechenden *Saite*, z. B. einer Guitarre ([4]).

In allen diesen Beispielen ist der durch den tönenden Körper in Schwingung versetzte eine *Saite*; in den folgenden geschieht ein Gleiches mit einer *Luftsäule*.

d) Legt man *zwei Concertflöten* auf eine Tafel parallel und dicht beisammen, und bläst auf der einen stark das $\bar{\bar{c}}$, wobei alle Seitenlöcher offen stehen, greift aber die andere Flöte so, dass sie, wenn sie angeblasen würde, eine halbe Stufe tiefer tönte (welches Intervall so viel beträgt, als die Vertiefung bei der erstern Flöte durch theilweise Verdeckung des Mundlochs mit der Lippe), so gibt die letztere, durch die Schwingungen der erstern zum Mitschwingen angeregt, denselben Ton, was man daraus erkennt, dass derselbe jetzt weit stärker gehört wird, als wenn Eine Flöte allein tönt ([5]).

e) Eine tönende *Stimmgabel*, deren Zinken man dicht vor das Mundloch einer Flöte bringt, deren Seitenlöcher so verschlossen werden, dass sie denselben Ton als die Stimmgabel geben kann, bewirkt, dass die *Luftsäule* der Flöte eben diesen Ton hervorbringt ([6]).

---

3) *Biot* II. S. 27. 4) Ebend. 5) So nach *Wheatstone* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 23. (53.) S. 329. 6) S. *Wheatstone* a. a. O. S. 328. Er fügt bei der Erwähnung dieses Versuches noch Folgendes hinzu: »Dieser Versuch gelingt leicht mit einer Concert-Flöte und einer den Ton $\bar{\bar{c}}$ gebenden Stimmgabel. Zu bemerken ist, dass man beim Blasen einer Flöte das Mundloch zum Theil verdeckt, wodurch der Ton ungefähr eine halbe Stufe tiefer wird, als wenn die Flöte bei ganz geöffnetem Mundloche in Schwingung gebracht würde. Nun muss die Flöte, auf die letztere Weise tönend, mit der Stimmgabel im Einklang sein, und es ist daher nöthig, statt $\bar{\bar{c}}$ auf der Flöte $\bar{h}$ zu greifen.«

f) Hält man eine tönende *Glas*- oder *Metallplatte* nahe an die eine Öffnung einer an beiden Enden offenen Orgelpfeife, welche denselben Ton, wie jene Platte gibt, so ertönt auch die *Luftsäule*, wie wenn sie durch Blasen in eine schwache Schwingung gebracht worden wäre. Man muss dabei die Platte so vor die Öffnung halten, dass ihre Flächen senkrecht auf die Axe der Röhre sind ([7]).

g) Lässt man eine *Uhrglocke* dicht vor der Mündung eines Gefässes ertönen, welches einen grossen Durchmesser im Verhältnisse zur Tiefe hat, und dessen *Luftsäule* denselben Ton wie die Glocke zu geben vermag, so wird dadurch auch diese Luft zum Tönen gebracht, und so der Ton der Glocke, weil er nun von 2 Körpern zugleich hervorgebracht wird, bedeutend verstärkt. Diese Erscheinung tritt auch ein, wenn man weite Röhren gebraucht, deren Länge nach Willkühr verändert werden kann, um genau die Grösse zu bestimmen, bei welcher sie denselben Ton wie die Glocke geben können ([8]).

2) *Beide Körper sind schon vor ihrer gegenseitigen Annäherung selbsttönend.* Ihre Töne sind

a) entweder *identisch*, es findet demnach ein *Einklang* Statt. Dieser Fall bedarf keiner weitern Bemerkung.

b) oder *verschieden*. In diesem Falle lehrt die Erfahrung zweierlei:

aa) Die Töne beharren *in ihrer Verschiedenheit*, die entweder consonirend oder dissonirend ist (s. § 43.).

---

7) Über diesen Versuch *Savart's* s. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 424.

8) Wie dieses geschehen könne, gibt *Savart* an, der auch diese Versuche gemacht hat, s. ebend. S. 423 f. Bei seinen Versuchen mit grossen gläsernen Glocken, die er vor der Öffnung passender Röhren schwingen liess, erhielt er Töne von einer solchen Stärke und Reinheit, dass man nichts Schöneres hören konnte; alle bekannten Töne schienen in Vergleichung mit ihnen dünn. S. ebend. S. 427.

bb) Der Ton des einen Körpers verwandelt sich in den Ton des andern Körpers, so dass durch diese *Assimilation* oder *Identification* des einen auch hier ein *Einklang* erfolgt. Ein merkwürdiges Beispiel dieser Art ist folgende von Dulong ([9]) beobachtete Thatsache. Wenn man bei einem gewöhnlichen, an beiden Enden offenen Flötenrohre die Grösse des Mundlochs stufenweise um ein Geringes verändert, so wird man endlich auf eine solche Grösse gerathen, bei welcher man den Grundton und seine Octave mit gleicher Leichtigkeit erhält. In diesem Falle gibt die Röhre wirklich den tiefsten Ton, wenn man nahe an der Mündung der Röhre, senkrecht gegen deren Richtung, die Luft mit dem Munde erschüttert, wie wenn man ein Licht ausblasen wollte; allein während der den Ton erzeugende Luftstrom mit constanter Geschwindigkeit zu blasen fortfährt, springt der Ton in die höhere Octave über und bleibt darin. Wenn man nun mit einer andern Röhre (er bediente sich dazu einer Grenié'schen Zungenpfeife) die tiefere Octave etwas stark angibt, so geht das Flötenrohr in diese tiefere Octave zurück, und diesen Wechsel kann man auf die nämliche Weise so oft, als man wünscht, wiederholen.

B. *Schwingungserscheinungen beim Zusammenwirken zweier Körper, deren einer zwar der Schwingungsart des andern fähig ist, aber nicht gleiche Neigung zu ihr hat.*

1) Der eine Körper ist *selbsttönend*, der andere wird durch diesen zum *Tönen* veranlasst. Hieher gehören folgende Fälle:

---

9) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 463.

a) Eine tönende *Saite* bewirkt, dass eine andere an Qualität und Dicke ihr gleichende, deren Länge aber ein Multiplum der tönenden Saite, d. h. die 2, 3, 4 u. s. w. Mal so lang als diese ist, in ihr (der tönenden Saite) entsprechende aliquote Theile, mithin in 2, 3, 4 u. s. w. Abtheilungen sich theilt, um mit ihr gleich schnelle Schwingungen machen und so denselben Ton mittönend hervorbringen zu können (s. S. 59.). — Doch nicht auf Saiten von gleicher Qualität beschränkt sich dieses, sondern es kann z. B. eine Metallsaite eines Claviers eine solche Eintheilung in, ihrem Tone entsprechende, aliquote Theile, und somit ein Mitklingen desselben Tones, an einer Darmsaite einer neben dem Clavier hängenden Violine bewirken ([10]). — Diese Erscheinung überhaupt aber bewirkt nicht bloss der (stärkere) *Grundton* einer Saite, sondern auch ein mit diesem bloss *mitklingender Flageoletton* derselben, indem er eine Saite, deren Länge ein Multiplum derjenigen ist, welche diesen Flageoletton als ihren Grundton hervorbringt, veranlasst, sich in solche aliquote Theile einzutheilen, dass sie denselben Flageoletton zu geben vermag. Streicht man z. B. mit einem Bogen die Saite C eines Basses, welche zugleich ihre harmonischen Töne c und g hören lässt, so theilt sich die Saite G dieses Instruments sichtlich in 2 gleiche Theile ab, deren jeder im Einklang mit diesem Flageolettone g schwingt ([11]). — Hier liegt die Ursache der Ungleichheit der Neigung bloss in der verschiedenen Quantität der schwingenden Körper.

b) Eine tönende *Saite* oder *Stimmgabel* bewirkt, dass ein Resonanzboden, mit dem man sie in unmittel-

10) *Baumgartner* S. 265. 11) *Biot* II. S. 27.

bare oder mittelbare Berührung bringt, isochronische Schwingungen mit ihr macht, und daher denselben Ton mittönen lässt. Da aber ein solcher Boden quantitativ und qualitativ von dem selbsttönenden Körper verschieden ist, so hat er natürlich nicht gleiche Neigung zu jeder Schwingungsart, die ihm von diesem gleichsam aufgenöthigt wird. Hieraus möchte sich zugleich der Umstand erklären, dass die Resonanzfiguren, als Versichtbarungen der Schwingungsarten eines solchen Körpers, nicht immer symmetrisch sind ([12]).

2) Beide Körper sind schon vor ihrer gegenseitigen Annäherung *selbsttönende*. Die Töne beider sind

a) entweder *identisch*,

b) oder *verschieden*. Im letztern Falle kommt es auf das gegenseitige Verhältniss beider Töne an, ob man noch ihre Verschiedenheit wahrnehmen soll oder nicht. Ein bemerkenswerthes Beispiel der letztern Art ist folgendes: Bringt man in einer angemessenen Pfeife ein freies Mundstück, welches den Ton einer offenen 16-füssigen Pfeife hat, zum Schwingen, und zwar für sich allein, so wird man einen tiefen und zugleich dumpfen Ton hören, der beinahe die Grenze der noch vernehmbaren Töne bildet; stellt man aber neben dieses Mundstück die höhere Octave desselben, die an sich immer noch einen sehr tiefen Ton hat, und lässt sie zusammen erklingen, so wird man finden, dass ihr Ton, bei derselben Tiefe, eine Kraft, Rundung und einen hellen Klang erlangt hat, die Verwunderung erregen können. Auch werden

---

12) S. das § 22. über dieselben Gesagte. — Die Gebr. *Weber* erwähnen (Wellenl. S. 542.) als Bedingungen, unter denen die Resonanzfiguren regelmässig sein können, nur die, dass der resonirende Körper sehr regelmässig sein und ihm die Schwingungen auf eine passende Weise mitgetheilt werden müssen.

beim Orgelspiel so tiefe Pfeifen, wie die 16- und 32-füssigen, nie allein gebraucht, weil ihr Ton kaum vernehmlich sein würde. Immer lässt man sie von ihren höhern consonirenden Tönen begleiten ([13]).

C. *Schwingungserscheinungen beim Zusammenwirken zweier Körper, deren einer wenig Fähigkeit zur Schwingungsart des andern hat.*

1) Der eine Körper ist *selbsttönend*, der andere wird durch diesen gleichfalls zum *Schwingen* gebracht. Ob dieses ein bloss *tonloses* sein oder ein *Mittönen* bewirken soll, hängt von dem quantitativen und qualitativen Verhältnisse beider Körper ab. Als Beispiele des Mittönens erwähne ich folgende:

a) Der Ton einer *Saite*, sei er Grundton oder ein denselben begleitender Flageoletton, bewirkt ein Tönen auch an einer solchen *Saite*, deren Stimmung ihm nicht ganz genau entspricht ([14]).

b) Der Ton einer *Stimmgabel* bringt die *Luftsäule* einer Flöte, vor deren Mundloch ihre Zinken dicht gehalten werden, auch dann zum Tönen, wenn dieselbe so gegriffen wird, dass sie selbsttönend einen etwas höhern oder tiefern Ton geben würde. Die-

13) *Biot* II. S. 118. Zur Erklärung dieser Thatsache fügt er hinzu: »Die Ursache dieser Erscheinung kann, wenigstens zum Theil, in einer Thatsache begründet liegen, die *Hamel* entdeckt hat, und von welcher ich durch ihn selbst Zeuge geworden bin. Nämlich wenn mehrere Töne zugleich erklingen, so hört man ausser ihrem Combinationstone, der sich theoretisch berechnen lässt, noch andere höhere Töne, die mit dem ersten eine aufsteigende Reihe bilden; sie sind deshalb vorzüglich bei Bässen bemerklich, wo die tiefern Töne verschwinden, verschwinden selbst aber bei den höhern Tönen, wo die ersten mehr Stärke erlangen.«

14) S. das oben bei A. 1. a. erwähnte Beispiel. — Es befremdet vielleicht Manchen, dass ich dieses und das folgende Beispiel unter diese Rubrik gebracht habe. Dass dieses aber dennoch mit Recht geschehen ist, wird man erkennen, wenn man solche Körper, die hier durch einen *tönenden* Körper in Schwingung versetzt sind, auf die gewöhnliche Weise, d. h. die Saite z. B. durch einen Violinbogen, die Flöte durch Anblasen zum Tönen bringt. Stets wird ihr Ton von dem der Saite und Stimmgabel, die hier ihre Schwingung erregen, verschieden sein; — Beweises genug, dass sie *an und für sich* wenig Fähigkeit zu der Schwingungsart haben, die sie hier zeigen, und dass sie diese nur durch *Assimilation* in solchem Falle annehmen.

ses Mittönen ist dann aber stets schwächer, als wenn auf der Flöte derselbe Ton gegriffen wird, den die Stimmgabel hören lässt ([15]). Was hier Wheatstone bei der Luftsäule einer Flöte nachgewiesen, hat gleichfalls Savart an einer Röhre gezeigt. Auch in dieser braucht die Luftsäule, um durch einen tönenden Körper in Schwingung gebracht zu werden, nicht nothwendig so genau bestimmte Dimensionen zu haben, die Erscheinung findet noch Statt (jedoch in geringerem Grade), auch wenn sie länger oder kürzer, weiter oder enger ist, nur innerhalb gewisser Schranken, die aber um so weiter sind, je grösser der Durchmesser der Röhre im Verhältnisse zu seiner Länge ist; es verstärkt z. B. eine Röhre von einigen Zoll Länge und ungefähr 1 Fuss Durchmesser mehrere Nachbartöne des Tones, mit welchem sie wirklich im Einklang ist, sehr beträchtlich; während für eine enge und lange Röhre der Einklang sehr genau sein muss, wenn eine Verstärkung erfolgen soll ([16]).

c) So wie in den eben erwähnten Beispielen eine Ungleichheit der Quantität Ursache der geringern Fähigkeit zu derselben Schwingungsart eines andern Körpers und des daraus hervorgehenden *schwächern* Mittönens ist, so ist noch mehr bei einem *Resonanzboden* in der quantitativen und qualitativen Verschiedenheit desselben von dem selbsttönenden Körper die Ursache zu suchen, warum er häufig gewisse Töne mehr und leichter verstärkt als andere. Die grössere Verstärkung findet vorzüglich bei denjenigen Tönen Statt, die der Resonanzboden als selbstklingender Körper bei irgend einer von seinen eigen-

15) S. *Wheatstone* a. a. O. Bd. 23. (53.) S. 328. vgl. oben A. 1. c.

16) S. *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (41.) S. 426.

thümlichen Schwingungsarten würde geben können; die schwächere Verstärkung aber tritt besonders bei Tönen ein, welche Schwingungsarten erfordern, zu denen er wenig fähig ist, und die er daher nur unvollkommen zu erzeugen vermag ([17]). Deshalb werden auch vorzugsweise bei solchen Tönen die Resonanzfiguren verzerrt und nicht symmetrisch sein ([18]).

2) Beide Körper sind *selbsttönend*, und zwar so, dass nicht der eine erst durch den andern zum Tönen gebracht wird. Ihre Töne sind dann, so lange sie nicht mit einander verbunden sind, stets verschieden; tritt aber eine enge Verbindung zwischen beiden ein, so kommt es auf den Grad der Verschiedenheit der beiden Töne an. Ist er gering, so kann er bei der Verbindung sich ausgleichen; ist er grösser, so erfolgt zwar keine Ausgleichung, jedenfalls aber eine Modification, und zwar beider Töne. Hierauf beruht z. B. die Erfahrung, welche Chladni bei dem Baue seines Clavicylinders machte, dass nämlich der Ton der dabei angewandten Klangstäbe sich etwas änderte, wenn sie an dem Instrumente neben andern befestigt waren, und daher erst nach dieser Befestigung genau gestimmt werden konnten ([19]). Hierauf beruht ferner die jedem Orgelbauer bekannte Thatsache, dass Pfeifen, wenn sie auf die Windlade neben die andern gesetzt sind, einen etwas andern Ton geben als zuvor, so dass ihre Stimmung nur an der Stelle, die sie in der Orgel einnehmen sollen, vollendet werden kann ([20]). Dass aber nicht bloss die neu hinzukommenden Pfeifen, sondern alle gegenseitig in ihrer Tonhöhe modificirt werden, erhellet daraus, dass, wenn man in einer gut gestimm-

17) *Chladni* S. 269 f. vgl. Beytr. z. prakt. Akust. S. 67. — *H.* und *W. Weber*: Wellenl. S. 531. — *Baumgartner* S. 266. 18) Vgl. Note 12. 19) *Chladni*: Beytr. z. prakt. Akust. S. 50. 66. 20) *Pellisov*: Berichtig. eines Fundamentals. d. Akust. u. s. w. S. 20.

ten Orgel einige Pfeifen absondert, indem man die benachbarten wegnimmt, die Tonhöhe der nun isolirt stehenden sich ändert und sie nicht mehr Stimmung halten (21).

D. *Schwingungserscheinungen beim Zusammenwirken zweier Körper, deren einer der Schwingungsart des andern ganz unfähig ist.*

1) Der eine Körper ist *selbsttönend*, der andere befindet sich in ruhigem Zustande. Ob er aus dieser Ruhe zum Schwingen durch jenen gebracht werde, hängt von gewissen Verhältnissen der Körper selbst und ihrer Schwingungen ab.

a) Ist der ruhende Körper eine *in einer Röhre enthaltene Luftsäule*, so kann sie durch einen vorgehaltenen selbsttönenden Körper, nach der Angabe der Gebr. Weber, in ihrer Wellenl. S. 519. zum Selbsttönen unter folgenden Bedingungen gebracht werden: Es müssen der Luftsäule regelmässig auf einander folgende, abwechselnd verdichtende und verdünnende Stösse ertheilt werden, welche Wellen erregen, deren Breite zur Länge der Röhre sich verhalten, *wenn diese an beiden Enden offen ist*, wie 1 : 1, wie 2 : 1, wie 4 : 1 u. s. w.; *wenn sie an einem Ende verschlossen ist*, wie 1 : 1, wie 3 : 1, wie 5 : 1 u. s. w. (22). Zur Bestätigung, namentlich der letztern, werden Savart's Beobachtungen angeführt. Dieser brachte cylindrische Gefässe mit verschlossenem Boden, gedeckte Orgelpfeifen durch Vorhalten von tönenden Glasscheiben, Glocken u. s. w. zum Tönen. Aber wenn die Röhren hinreichend eng waren, mussten sie eine solche Länge haben,

---

21) *Biot* II. S. 100.

22) Warum gerade diese Verhältnisse obwalten müssen, hat seinen Grund in dem, was §. 18. über die Schwingungsarten der Luftsäulen vorgetragen ist.

dass die von einer (verdichtenden oder verdünnenden) Schwingung des Körpers erregte Welle in der Zeit, in welcher der Körper die Schwingung machte, die ganze Röhre, oder ein Drittel derselben, oder ein Fünftel der Röhre durchlief, wo dann, diesem Verhältnisse entsprechend, von der Luft in der Röhre entweder derselbe Ton, welchen der vorgehaltene tönende Körper gab, oder einer der nächsten harmonischen Töne hervorgebracht wurde. — Sehr merkwürdig ist deshalb, dass, nach W h e a t s t o n e's Versuche, die Luftsäule einer an einem Ende verschlossenen Röhre auch durch einen solchen tönenden Körper zum Selbsttönen gebracht werden kann, von welchem Wellen ausgehen, deren Breite sich zu der Länge der Röhre wie $\frac{1}{2}$: 1 verhält, oder, mit andern Worten, dessen Ton um eine Octave tiefer als der Grundton der Röhre ist. Er berichtet hierüber Folgendes: »Ich nahm eine an einem Ende durch einen beweglichen Stempel verschlossene Röhre, und hielt die Zinke einer schwingenden Stimmgabel, welche $\bar{\bar{c}}$ gab, vor ihr offenes Ende. Die Länge der Luftsäule war 6 Zoll. Wurde die Länge der Luftsäule auf 3 Zoll vermindert, so wurde der Ton der Stimmgabel nicht mehr verstärkt, sondern die höhere Octave desselben (der Ton der Luftsäule selbst, wenn sie unmittelbar in Schwingung versetzt wurde) hervorgebracht. Eine durch Mittheilung schwingende Luftsäule braucht daher nicht immer isochronisch mit einem andern Körper zu schwingen, sondern die Zahl ihrer Schwingungen kann auch ein Multiplum von der Zahl der Schwingungen des selbsttönenden Körpers sein. Das Umgekehrte findet nicht Statt; denn wenn die Zahl der Schwingungen einer Luftsäule ein Aliquotum von der Zahl der Schwingungen des selbsttönenden Körpers ist, so zeigt sich

keine Resonanz. Z. B. es sei eine an einem Ende verschlossene Röhre doppelt so lang, als in dem Falle, wo sie mit der Stimmgabel im Einklang ist. Wenn die in ihr enthaltene Luftsäule unmittelbar in Schwingung gebracht würde, so würde sie um eine Octave tiefer tönen, als die Stimmgabel, folglich die Zahl ihrer Schwingungen die Hälfte (also ein Aliquotum) von der Zahl der Schwingungen der Stimmgabel sein. Hält man aber die Stimmgabel vor ihr offenes Ende, so resonirt dieser tiefere Ton nicht; aber auch kein anderer, weil die Röhre die nächst höhere Octave (den Ton der Stimmgabel) nicht hervorbringen kann, weil sie an einem Ende verschlossen ist« ([23]).

b) Ist der ruhende Körper ein *Resonanzboden*, so wird er zwar in Schwingung versetzt, aber in eine so schwache, dass kein Mittönen erfolgt. Dieses erkennt man besonders da, wo eine longitudinal schwingende Saite mit einem Resonanzboden verbunden ist; denn die Töne einer so schwingenden Saite sind meistens zu hoch, ihre Schwingungen zu schnell, als dass der Resonanzboden, wenn er transversal schwingt, mit ihnen isochronisch in der zum Mittönen gehörenden Stärke schwingen könnte. Daher erhalten solche Töne durch einen Resonanzboden nicht leicht eine Verstärkung, bedürfen aber auch einer solchen nicht, da sie an sich schon stark vernehmbar sind ([24]). — Auf derselben Ursache beruht auch die S. 41. Note 17. erwähnte Thatsache, dass der sehr hohe Ton, den eine Stimmgabel im Augenblicke des Anschlagens hervorbringt, und den man, bevor man sie auf einen Resonanzboden stemmt, sehr deutlich ver-

---

23) S. *Schweigger's* u. *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 23. (53.) S. 330 f. 24) Vgl. S. 32. — *Pellisov*: über Schall, Ton, Knall u. s. w. S. 7.

nimmt, durch einen Resonanzboden nicht verstärkt wird, weil das Holz dieses Bodens nicht in gleicher Schnelligkeit zu schwingen vermag.

c) Auch ein Körper von sehr verschiedenen Dimensionen wird durch einen andern tönenden Körper zum Schwingen, jedoch nicht zum Tönen gebracht. So reicht z. B. nach Savart's Versuchen eine einfache Glasröhre hin, die ganze Masse eines sehr dicken Balkens in Schwingung zu versetzen, und augenblicklich Knotenlinien zu erzeugen. Man braucht nur die Röhre bis zu einer Tiefe von einigen Centimetern in eine Öffnung von ungefähr dem nämlichen Durchmesser, die an einem Ende des Balkens angebracht ist, zu stecken, und mit Siegellack so darin zu befestigen, dass sie fest an seiner Masse adhärirt ([25]).

2) Beide Körper sind *selbsttönend.* Natürlich sind ihre Töne von einander *verschieden.* Hier treten aber 2 Fälle ein:

a) Diese beiden Körper bleiben *getrennt.* Dann bleiben auch stets ihre Töne *verschieden.*

b) Sie werden mehr oder minder eng mit einander *verbunden,* so dass sie ein *Klangsystem* bilden. Dann erscheint, indem jeder von ihnen seine Schwingungsart etwas ändert, und beide sich gegenseitig hierin nähern, statt jener beiden verschiedenen Töne, die sie als selbstständige Körper gaben, ein neuer zwischen beiden mehr oder weniger mitteninne liegender. Da indess die zu einem Klangsysteme verbundenen Körper nicht alle zu dieser Rubrik gehören, sondern auch einer der frühern Rubriken angehören können, so trennen wir, was jetzt noch über diese Systeme zu sagen ist, von diesen Rubriken.

---

25) *Biot* II. S. 59.

Klangsysteme.

Mit dem Namen *Klangsystem* bezeichnet man die enge Verbindung einer beliebigen Anzahl klingender Körper zu *Einem Ganzen, welches nur Einen Ton gibt, den alle jene Körper gemeinschaftlich hervorbringen.* Durch diese eben angegebenen Eigenschaften unterscheidet sich ein Klangsystem

1) von einem musikalischen Instrumente, das aus mehreren klingenden Körpern zusammengesetzt ist, z. B. einer Orgel, dadurch, dass im letztern wohl die Töne der verschiedenen klingenden Körper wegen ihrer gegenseitigen Verbindung zwar manche Modification erleiden, aber doch nicht in Einen Ton sich verschmelzen;
2) von der Verbindung eines selbsttönenden und eines bloss mittönenden, resonirenden Körpers aber unterscheidet es sich dadurch, dass bei einer solchen Verbindung nur der selbsttönende Körper die Tonhöhe, und zwar nicht nur seine eigene, sondern auch die des bloss mittönenden bestimmt, ohne selbst durch den letztern merklich darin modificirt zu werden; bei einem Klangsysteme hingegen haben alle klingende Körper, wenn auch (je nach ihrem verschiedenen Quantitätsverhältnisse) in verschiedenem Grade, an der Bestimmung der Tonhöhe Antheil, obgleich die Tonerregung zunächst nur an einem der klingenden Körper geschieht.

Bei den zu einem solchen Systeme verbundenen Körpern kommt als einflussreich in Betracht

1) die Qualität und Quantität der Körper selbst,
2) die Qualität und Quantität ihrer Schwingungsarten.

Da wir uns hier auf Anführung nur einiger Beispiele beschränken müssen, so wählen wir nur die Qualität der Schwingungsarten zum Eintheilungsprincip, und theilen hiernach die Klangsysteme

1) in solche, in welchen sämmtliche klingende Körper einerlei Qualität der Schwingungsart haben, d. h. alle entweder primär oder secundär schwingen;
2) in solche, in welchen der eine Theil der klingenden Körper eine andere Qualität der Schwingungsart hat, als der andere.

A.

Klangsysteme von einerlei Qualität der Schwingungsart.

In den folgenden 3 Beispielen schwingen die zu einem Klangsysteme vereinigten Körper sämmtlich secundär, d. h. transversal.

1) Wenn man 2 *Gabeln, deren Töne etwas verschieden sind,* so neben einander legt, wie es § 21. S. 227 f. bezeichnet worden, und mit den Fingern oder sonst auf irgend eine Art fest gegen einander drückt oder mit einem Faden zusammenbindet, so bilden diese beiden Gabeln ein gemeinschaftliches Klangsystem, welches einen Ton gibt, der (wegen der gegenseitigen Anstemmung) um eine Quinte tiefer ist, als *derjenige, welcher zwischen den beiden verschiedenen Tönen,* welche die Gabeln, so lange sie getrennt sind, hervorbringen, *ungefähr in der Mitte stehen würde,* während bei einem solchen Versuche mit 2 gleichtönenden Gabeln der dann erscheinende Ton um eine Quinte tiefer ist, als der Ton, welchen jede Gabel selbstständig hervorbringt ([26]).
2) *Zwei in einerlei Ebene mit einander verbundene Kreisscheiben* von einerlei Materie können, je nach der verschiedenen Stelle, die man mit dem Violinbogen an der einen Scheibe streicht, wenn ihre Dimensionen gleich sind, eine Klangfigur geben, deren Hälfte man

---

26) S. diesen Versuch *Chladni's* in dess. Beytr. z. prakt. Akust. S. 24. und die das Verfahren veranschaulichenden Abbildungen Tab. I. Fig. 7. I. II. III.

auch in jeder Scheibe für sich allein erzeugen kann, aber auch eine solche, deren Hälfte man auf einer einzigen Scheibe nicht erzeugen kann. Sind aber beide an Grösse verschieden, so gilt im Allgemeinen die Regel, dass die einem Körper eigene Schwingungsart durch die Verbindung mit einem andern desto mehr modificirt werde, je grösser die angehängte Masse ist. Ausserdem kommt es auch, wenn z. B. 2 an Grösse sehr verschiedene Scheiben auf die bezeichnete Art verbunden sind, darauf an, ob man die grössere oder die kleinere mit dem Bogen streicht. Im erstern Falle entsteht auf der grössern eine Klangfigur, die ihr auch für sich selbst zukommt; streicht man aber die kleinere Scheibe, und lässt ihre Bewegung der grössern sich mittheilen, so erhält man eine Figur, die weder in der grössern noch in der kleinern Scheibe für sich erzeugt werden kann. Welche Töne diese verschiedenen Klangsysteme hervorbrachten, ist von Baumgartner (27), der das hier Gesagte anführt, leider nicht mit erwähnt.

3) *Zwei auf einander geleimte Kreisscheiben* von gleicher Dicke und Durchmesser, die man von einer Holzart genommen, welche verschiedene Elasticitätsaxen hat, bilden gleichfalls ein Klangsystem, welches, je nach der Verschiedenheit der Elasticität der Scheiben und der gegenseitigen Lage ihrer etwaigen Elasticitätsaxen und ihrer Fasern, verschiedene Erscheinungen zeigt, die aber von Savart (28), der diese Versuche gemacht, nur nach den Klangfiguren, nicht aber zugleich nach den Tönen, genauer bezeichnet sind. Enthalten beide Scheiben in ihrer Ebene die Axen der grössten und der mittleren Elasticität, und leimt man sie so auf ein-

27) Naturlehre. 3. Aufl. S. 267. 28) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 253 f.

ander, dass die Axen gleicher Art in den beiden Scheiben einen mehr oder weniger beträchtlichen Winkel bilden, so sind die Theilungsarten in der Doppelscheibe sehr nahe dieselben, wie in jeder Scheibe für sich, d. h. die eine besteht aus einem rechtwinkeligen Linienkreuze, und die andere aus 2 Hyperbelzweigen; doch findet sich der Unterschied, dass die eine Linie des rechtwinkeligen Systems sich immer auf die den Winkel zwischen den Holzfasern halbirende Linie legt, und dass von den Asymptoten der hyperbolischen Curve die eine den Fasern der ersten, und die andere den Fasern der zweiten Scheibe parallel zu laufen scheint. Ganz ähnliche Resultate erhält man mittelst der Kreuzung zweier Scheiben, die wenigstens eine der Elasticitätsaxen enthalten, d. h. bei denen eins der Knotensysteme aus einem rechtwinkeligen Linienkreuze besteht. Wenn eine der beiden Scheiben keine der Axen in ihrer Ebene enthält, so bestehen die Knotensysteme nur aus Hyperbelzweigen, und die Lage, welche sie annehmen, liegt zwischen der, welche sie in den einzelnen Scheiben angenommen haben würden.

B.

Klangsysteme von zweierlei Qualität der Schwingungsart.

Hieher gehören alle diejenigen, wo ein klingender Körper, z. B. ein Stab, eine Platte, senkrecht auf einem andern, ihm gleichen oder verschiedenen, befestigt ist. Denn entweder macht der erstere primäre Schwingungen, während der andere durch ihn erregte secundäre macht; oder sie machen zwar beiderseits primäre Schwingungen, aber von verschiedener Art, nämlich der eine tangential longitudinale oder tangential transversale, während der andere normale macht, oder umgekehrt. Dieser verschiedenen Schwingungsarten ungeachtet aber ist es, nach Savart's Versuchen, sehr wahrscheinlich, dass, wenn ein solches System unwandelbar

mit einander verbundener Körper in eine schwingende Bewegung kommt, welche einen anhaltenden und vernehmbaren Ton zur Folge hat, alle Theile dieses Systemes gleichzeitige Bewegungen annehmen, die vollkommen die nämliche Periode halten, und mithin auch vollkommen gleiche Töne hervorbringen ([29]). Die Zahl dieser Theile aber kann sehr verschieden sein; denn es können 2, 3 oder eine beliebige grössere Zahl klingender Körper zu einem Systeme verbunden sein, wie folgende Beispiele zeigen.

1) *Klangsystem von 2 klingenden Körpern.*

Der Grad, in welchem bei einem solchen Systeme der eine Körper durch den andern in seinen Schwingungen und demnach auch in seinem Tone modificirt wird und wiederum auf diesen modificirend einwirkt, hängt von dem qualitativen und quantitativen Verhältnisse beider ab. Savart hat in dieser Hinsicht nachgewiesen, dass, wenn z. B. ein elastischer Streifen von Holz, Glas oder Metall an einen festen Körper von so bedeutender Masse befestigt ist, dass er den dem letzteren zugehörigen Ton nicht merklich zu modificiren vermag, er eine solche Disposition annimmt, bei welcher er Schwingungen ausüben kann, die mit den für diesen Ton erforderlichen isochronisch sind. Dieses gilt nun auch da, wo ihm eine solche Stellung gegeben ist, dass er longitudinale Schwingungen machen muss, wenn der mit ihm zu einem Klangsysteme verbundene weit grössere Körper transversale vollbringt. Denn es zeigen die Knotenlinien, welche in einem solchen Falle an dem longitudinal schwingenden Körper erscheinen, genau die Gestalt und die Abstände, die sie an einem Stabe von gleicher Breite und aus demselben Stoffe haben würden, dessen Länge so beschaffen wäre, dass er frei longitudinal schwingend selbst den gehörten Ton hervorgebracht haben würde ([30]).

---

29) *Biot* II. S. 114. 30) Ebend. S. 114.

2) *Klangsystem von 3 klingenden Körpern.*

Man nehme z. B. 2 kreisförmige Scheiben von Holz, die entweder im Durchmesser und in der Dicke einander gleich oder ungleich sind, und verbinde sie mit einander durch ein in ihrer Mitte und senkrecht auf beider Ebene mit etwas Siegellack oder festem Mastix zu befestigendes Holzstäbchen, fasse dieses Stäbchen mit den Fingern so, dass beide Scheiben horizontal werden, und versetze nun eine derselben in Transversalschwingung, indem man ihren Rand mit einem Violinbogen streicht. Durch die so schwingende Scheibe werden in dem Stabe longitudinale Schwingungen erregt; dieser selbst aber bringt in der mit seinem andern Ende verbundenen Scheibe wieder Transversalschwingungen hervor. Der Ton, welchen dieses Klangsystem gibt, weicht von dem jeder einzelnen Scheibe mehr oder weniger ab, wie Savart beobachtet hat ([31]).

3) *Klangsysteme von mehreren klingenden Körpern.*

Dergleichen erhält man

1) wenn man, statt, wie in dem zuletzt aufgestellten Beispiele, 2 *Scheiben* durch ein senkrecht stehendes Stäbchen zu vereinigen, deren, 3, 4 u. s. w. mit einander auf diese Weise verbindet, so dass immer zwischen je 2 horizontalen Scheiben ein auf beider Ebene senkrechtes Stäbchen sich befindet. Dieses ganze System gibt Einen Ton, der auch hier von dem jeder einzelnen Scheibe mehr oder weniger abweicht.

2) Wie hier Scheiben und Stäbe rechtwinkelig mit einander verbunden sind, so kann man auch ein Klangsystem aus einer beliebigen Anzahl flacher *Glasstäbe* errichten, die man rechtwinkelig so über einander befestigt, dass je 3 die Gestalt eines umgelegten ⌶ zeigen. Setzt man nun den ersten Stab in Transversal-

---

31) *Biot* II. S. 111.

schwingung, so wird durch ihn der zweite, auf ihm senkrecht befestigte longitudinal zu schwingen veranlasst. Dieser aber erregt wieder in dem horizontal auf ihm liegenden dritten eine dem ersten gleiche Transversalschwingung. In gleicher Art pflanzt sich die ursprüngliche Erschütterung successiv zu allen folgenden fort, indem sie immer so abwechselnd einmal als transversal, das andere Mal als longitudinal auftritt. Dasselbe geschieht, nur in umgekehrter Abwechselung, wenn man den ersten Stab, statt ihn transversal schwingen zu lassen, in Longitudinalschwingung versetzt. Es erregt dann dieser erste, nach demselben Gesetze der mit sich parallelen Fortpflanzung, in dem senkrecht auf ihm stehenden zweiten eine transversale (oder, falls seine Schwingungen minder stark sind, eine normale) Schwingung, dieser wiederum in dem horizontal auf ihm liegenden dritten eine longitudinale, und so fort abwechselnd bis zum letzten Stabe. Diese successiv eintretenden relativen Umwandlungen der Bewegungen erfolgen mit vollkommener Regelmässigkeit und einmal wie das andere; denn bildet man ein System, in welchem alle Stäbe, die auf der Stufe der ungeraden Zahlen in der Reihenfolge stehen, so wie alle, welche die Stufen der ungeraden Zahlen einnehmen, unter sich dem Stoff und den Dimensionen nach gleich sind, so ergibt sich aus der Ansicht der Knotenlinien, dass alle Stäbe einer und derselben Reihe, nämlich 1) alle horizontal liegenden unter sich, und 2) alle senkrecht auf jenen stehenden unter sich, genau die nämliche Schwingungsart annehmen. Auch hier zeigen die longitudinal schwingenden Stäbe eben so, als wenn sie als selbstständige Körper schwingen, die § 20. S. 147 f. erwähnte Eigenthümlichkeit, dass die Knotenlinien der untern Seite nicht denen der obern entsprechen, sondern zwischen dieselben fallen. Davon überzeugt man

sich, wenn man ein solches System so umkehrt, dass die untern Seiten der longitudinal schwingenden Stäbe nach oben gekehrt sind, wiederum Sand aufstreut und die Schwingungserregung auf gleiche Weise wiederholt. — Dieser Versuch Savart's zeigt

aa) dass der Ton eines Stabes durch seine Verbindung mit andern modificirt wird. Denn ist der erste Stab dieses Systems in Transversalschwingung versetzt, so ist der Ton des Systems von dem Transversaltone jedes einzelnen Stabes verschieden; ist aber der erste Stab longitudinal erschüttert, so findet man eine ähnliche Verschiedenheit zwischen dem Tone des Systems und dem Longitudinaltone jedes einzelnen Stabes. Dieser Versuch zeigt ferner

bb) dass die Schwingungsbewegung durch die successiven Umwandlungen, die sie erfährt, in ihrer ursprünglichen Periodicität nicht abgeändert wird. Daraus aber folgt, dass die longitudinalen Schwingungen, die in frei schwingenden Stäben im Allgemeinen ohne Vergleich rascher geschehen, als die transversalen bei gleichen Längen der Stäbe, sich doch unter diesen Umständen so zu modificiren vermögen, dass die secundären Erschütterungen, die sie hervorbringen, die für die transversale Bewegung erforderliche Langsamkeit haben, welche durch die Beschaffenheit des entstehenden Tones beurkundet wird, und dass umgekehrt die transversalen Schwingungen sich so modificiren können, dass sie durch ihren Stoss die den longitudinalen Schwingungen zukommende Schnelligkeit wieder hervorbringen. Dass dem so sei, erkennt man aus den Knotenlinien sowohl der longitudinal, als der transversal schwingenden Stäbe. Savart fand nämlich bei Anstellung dieser Beobachtung, dass die Knoten auf den longi-

tudinal schwingenden Stäben des Systems weiter aus einander rücken, auf den transversal schwingenden dagegen näher zusammen treten, so dass die longitudinale Bewegung mit einer solchen übereinkommt, die freien Stäbe von einer weit grössern Länge angehören würde, während die transversale Bewegung der andern von der Art ist, wie sie weit kürzern freien Stäben zukäme, woraus eine Compensation hervorgeht, welche den Isochronismus der Perioden dieser beiden Schwingungsarten, und mithin das Übereinstimmen ihrer Töne bestehen lässt ([32]).

Aus diesem Allen ergibt sich, dass, wenn Körper, die in ihren Schwingungsarten von einander verschieden sind, so nahe zusammenkommen, dass sie auf einander einwirken, unter den Schwingungsarten beider ein *Antagonismus* eintreten kann, der verschiedene Grade, und daher auch verschiedene Erfolge hat. Denn

1) entweder überwindet die Schwingungsart des einen Körpers die des andern ganz, d. h. zwingt sie, ihr selbst gleich zu werden. Zur Bezeichnung dieses Vorganges möchte der Ausdruck »*einseitige Assimilation* oder *Accommodation*« der passendste sein.

2) oder keine überwindet die andere ganz, sondern sie vereinigen sich, indem jede nachgibt, zu einer neuen, welche zwischen ihnen mehr oder weniger in der Mitte liegt. Dieses kann man füglich *gegenseitige Assimilation* oder *Accommodation* nennen.

3) oder keine überwindet die andere auch nur grossentheils; es wird dann, wenn nur der eine Körper selbsttönend, der andere ruhend ist, im letztern weder ein Selbsttönen, noch ein Mittönen bewirkt, und sind beide selbsttönend, so beharren sie in der Verschiedenheit ihrer Töne.

32) *Biot* II. 112 ff.

Bei der *gegenseitigen Assimilation* kann man wieder unterscheiden

a) eine *vollständige*,

b) eine *unvollständige*.

Beispiele der erstern sind die Klangsysteme, Beispiele der letztern findet man zahlreich unter den Versuchen Savart's, einen klangfähigen Körper durch einen tönenden, z. B. durch eine gespannte Saite oder ein Stäbchen von bestimmter Länge, in Schwingung zu versetzen, indem er einen der letztern Körper mit jenem zu erregenden in Verbindung setzt und dann reibt oder streicht. Ein solcher tönender Körper wie hier die Saite, der Stab, ist nämlich vermöge seiner Länge und Spannung zu Schwingungen von einer bestimmten Geschwindigkeit geneigt, die zwar durch die Rückstösse des in Schwingung zu setzenden Körpers, mit welchem er verbunden ist, einigermassen, aber doch nur unvollkommen modificirt werden kann; passt daher die Zahl der Schwingungen, zu denen ein solcher, zur Erregung eines andern gebrauchter tönender Körper geneigt ist, zu der Zahl der Schwingungen, welche der zu erregende Körper am leichtesten hervorbringt, nicht zufällig, so erhält der letztere Körper ausser den Stössen, die ihn zum Tönen bringen, noch eine Menge anderer, die den Ton rauh machen, oder ein Geräusch verursachen, oder auch eine unhörbare Schwingung erregen. Anders verhält es sich dagegen, wenn man durch einen nicht tönenden Körper einen andern zum Tönen bringt. Der erstere, z. B. ein Violinbogen, accommodirt sich der eigenthümlichen Geschwindigkeit der Schwingungen des Körpers, den er zum Tönen bringen soll, so dass er einen zu einem tiefern Tone geneigten Körper in einem langsamern, einen zu einem höhern Tone geneigten Körper in einem schnellern Tacte stösst; denn der Tact, in dem er stösst, hängt selbst grösstentheils von den Rückstössen ab, die er von dem

tönenden Körper erhält, den er selbst erst in Schwingung versetzt hat. Daher wird man am leichtesten bei dem letztern Verfahren einen reinen, klangvollen und starken Ton vernehmen (33).

Wie sehr übrigens ein Körper, mit dem ein tönender Körper in enge Verbindung gesetzt ist, sich bestrebt, möglichst genau mit ihm isochronische Schwingungen zu machen, erhellet auch aus folgenden 2 Beobachtungen Savart's. Verbindet man eine *Platte* mit einer *Saite* so, dass diese senkrecht darauf ist, und versetzt hierauf die Saite in Transversalschwingungen, so schwingt, dem Gesetz des Parallelismus der Bewegung eng verbundener Körper zufolge, die Platte tangential. Dasselbe findet Statt bei einem *Stabe*, wenn man einen senkrecht darauf gesetzten kleinen *Cylinder* transversal schwingen lässt. Ist aber der Transversalton der Saite oder des Cylinders ein solcher, den auch die Platte oder der Stab bei transversaler Schwingung geben kann, so tritt dort bei der Platte, hier bei dem Stabe, besonders wenn er etwas lang ist, statt der sonstigen tangentialen Schwingung die jenem Tone entsprechende Transversalschwingung ein (34). Diese Erscheinung, dass die Platte und der Stab dann von dem sonstigen Parallelismus der Schwingungen abweichen, ist wohl aus dem Bestreben des erregten Körpers zu erklären, möglichst genau und zugleich auf eine seinem eigenen Wesen am meisten angemessene Weise isochronisch mit dem erregenden Körper zu schwingen. Denn so lange der letztere transversal, der zu erregende Körper aber tangential schwingt, ist der Isochronismus der Schwingungen entweder nicht ganz genau, oder doch jedenfalls sehr gezwungen, da beiderlei

33) *W. Weber* in *Schweigger*'s und *Schweigger-Seidel*'s Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 297 f.

34) S. Annales de chim. et de phys. par *Gay-Lussac* et *Arago*. Tom. XXV. p. 26. 147. (*Schweigger*'s Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 418.) — Zur Verhütung eines Missverständnisses erwähne ich, dass *Savart* diese Transversalschwingung beide Male, wie auch sonst oft, *normale* Schwingung nennt, weil er beide fälschlich für identisch hält. Vgl. *W. Weber* a. a. O. Bd. 15. (45.) S. 281. 288.

Schwingungsarten an sich zu sehr von einander verschieden sind. Kann daher der erregte Körper auf eine andere seinem Wesen angemessenere Weise mit jenem isochronisch schwingen, so wird er natürlich diese letztere der gezwungenen vorziehen.

Anmerkung 1. In dem Bisherigen betrachteten wir den Antagonismus der Schwingungsarten *mehrerer zusammenwirkender* Körper. Ein in gewisser Hinsicht ähnlicher Antagonismus findet auch bei einem *einzelnen* Körper zwischen der *primären* und *secundären Schwingung* in sofern Statt, als die erstere von der letztern, so bald diese als *stark tönend* auftritt, überwältigt wird, wie man an den Knotenfiguren beider deutlich erkennt. Denn die Knotenlinien, die bei den primären Schwingungen und bei der schwach tönenden secundären (wenn z. B. die Platte nicht unmittelbar mit dem Violinbogen gestrichen, sondern mittelbar durch eine Saite erschüttert wird) sich deutlich zeigen, und die von Savart zuerst untersucht sind, verschwinden sogleich, so bald die stark tönende transversale Schwingung vorherrschend wird, weil die von ihr dem Sande mitgetheilten Stösse dann heftiger auf den Sand wirken als alle übrigen gleichzeitigen Schwingungen und Wellenbewegungen an der Oberfläche des tönenden Körpers, indem sie die Theilchen nöthigt, grössere Schwingungsbahnen zu durchlaufen. Bei dieser letztern Schwingungsart ändert sich auch nicht, wie bei andern, die Bewegung des Sandes bei Veränderung der Richtung des streichenden Violinbogens, sondern, so bald einmal diese stark tönende secundäre Schwingung vorherrschend geworden ist, springt aller Sand stets perpendicular in die Höhe. S. W. Weber in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 287 ff.

Anmerkung 2. Zu diesen *Assimilations-Erscheinungen*, wie wir sie in den obigen Klangsystemen beobachtet haben, bieten sich mannichfache *Analogien* auch anderweitig dar. Wir erwähnen zuerst die von Brequet verfertigten Uhren, welche er *Doppeluhren* (*montres doubles*) nennt, weil sie in einem einzigen Gehäuse von gewöhnlichen Dimensionen 2 vollständige Räderwerke enthalten, die von einander unabhängig, beide aber auf demselben metallenen Boden befestigt sind. Jedes dieser Räderwerke setzt Stunden-, Minuten-, Secundenzeiger in Bewegung, deren Gang ihm einzig unterthan ist. Obwohl nun

dieser Gang in beiden Systemen sich niemals ganz gleich ist, wenn jedes für sich wirkt, so tritt doch, wenn man beide zusammen wirken lässt, und sie nicht sehr im Gange von einander abweichen, bald eine vollkommene Übereinstimmung zwischen ihnen ein, vermöge des wechselseitigen Einflusses, der sich von einem Räderwerke zum andern durch den festen Boden der Uhr fortpflanzt, auf dem beide befestigt sind. S. Biot II. S. 114 f. Hieran reiht sich die von W. Weber (in Poggendorff's Annal. Bd. 16. (92.) S. 203.) mitgetheilte Erfahrung, dass 2 Pendel, deren Schneiden auf eine und dieselbe Unterlage, z. B. auf eine und dieselbe Metallplatte gesetzt werden, alle ihre Schwingungen gemeinschaftlich mit einander machen, wenn auch ihre Länge nicht vollkommen gleich ist. Was hier die gemeinsame Unterlage, bewirkt in folgendem Falle, den derselbe (ebend. Bd. 17. (93.) S. 195.) erwähnt, der verbindende Faden. Hängt man 2 Bleikugeln an 2 Fäden von verschiedener Länge, und zwar an 2 festen Punkten auf, und verbindet beide Kugeln durch einen Querfaden, so können beide Kugeln isochronisch schwingen. Schneidet man den Querfaden durch, so schwingt auch jede Kugel einzeln, die eine aber etwas schneller, die andere etwas langsamer, als da sie verbunden waren. — Ferner erinnern die oben angegebenen Assimilationsweisen der Schwingungen verschiedener Körper sehr an analoge Erscheinungen bei den *Sprachlauten*. Bekanntlich findet auch unter diesen eine *Assimilation* Statt, die in verschiedene Arten zerfällt. Auch bei den Lauten gibt es 1) eine *einseitige* und *gegenseitige*, 2) eine *unvollständige: Anähnlichung*, und eine *vollständige: Angleichung*, 3) eine *progressive* und *regressive*. Mit diesen letztern Ausdrücken unterscheidet Pott in s. Schrift: »Etymologische Forschungen auf d. Gebiete der Indo-Germanischen Sprachen« Th. II. (Lemgo, Meyer. 1836. 8.) S. 8 ff., wo er diesen Gegenstand ausführlicher behandelt, die beiden Richtungen der Assimilation. Bewirkt ein Laut, dass der folgende sich ihm assimilirt, so nennt er diese Assimilation eine *vorwirkende* oder *progressive*; bewirkt dagegen ein Laut, dass der hinter ihm stehende sich ihm assimilirt, so nennt er diese Assimilation eine *rückwirkende* oder *regressive*. Auch zu dieser Eintheilung bietet sich von selbst Analoges in der obigen Assimilation der Schwingungen dar. Denn bewirkt der die Schwingung eines andern Körpers erregende Körper, dass die Schwingungen des erregten sich ihm assimiliren, so ist dieses eine pro-

gressive Assimilation im obigen Sinne; bewirkt dagegen der erregte Körper, dass der erregende Körper in seinen Bewegungen sich ihm assimilire, so ist dieses eine regressive Assimilation in der obigen Bedeutung des Worts.

§ 27.

Schwingungsarten der Zungenwerke und des Génder.

Die Schwingungsarten dieser musikalischen Instrumente erläutern wir in diesem Abschnitte deshalb neben einander, weil bei allen diesen 2 klingende Körper:

eine *schwingende Platte* und
eine *schwingende Luftsäule*

zusammenwirken und gemeinsam den Ton bestimmen.

A.

Schwingungsarten der Zungenwerke.

Mit dem Namen *Zungenwerk* bezeichnen wir alle Tonwerkzeuge, wo ein *fester Körper*, der den Namen *Zunge* entweder wirklich führt, oder doch die Stelle eines solchen, den man Zunge zu nennen pflegt, vertritt, und ein *elastisch flüssiger*, die *Luft*, gemeinschaftlich zur Erzeugung der Töne wirken. Wir theilen die hieher gehörigen Tonwerkzeuge nach Müller [1] in folgende 2 Classen:

1) Zungenwerke mit einer *Zunge von einem steif elastischen Körper*: Metall, Holz.
2) Zungenwerke mit einer *membranösen oder durch Spannung elastischen Zunge.*

1.

Zungenwerke mit einer Zunge von einem steif elastischen Körper.

Diese, deren Zunge entweder von Metall oder von Holz ist, lassen sich wieder nach der *Gestalt* der Zungen mit Müller eintheilen

1) Physiologie des Menschen Bd. II. Abth. I. S. 142 ff.

a) in solche, deren Zungen den *Stäben* ähnlich sind,
b) in solche, deren Zungen *scheiben*förmig sind.

a) *Zungenwerke mit stabförmigen Zungen.*

Diese theilt jener Physiologe wieder ein in

aa) Einfache Zungen ohne Rohr;

bb) Zungen mit einem den Ton modificirenden Rohre.

Wir beginnen die weitere Erörterung dieses schwierigen Gegenstandes mit dem ersten der eben erwähnten 2 Fälle:

aa) *Einfache Zungen ohne Rohr.*

Hieher gehört

α) die *Maultrommel*,

die man sonst auch *Brummeisen* (²) nannte, jetzt aber häufiger *Mundharmonika* zu nennen pflegt. Dass ich hier jenen für minder edel geltenden Namen zur Überschrift gewählt, ist in der Absicht geschehen, um das hier kurz zu erläuternde Instrument möglichst bestimmt zu bezeichnen. Dieses aber ist durch den Namen *Mundharmonika* minder erreichbar, weil denselben zugleich ein anderes demnächst anzuführendes Instrument führt. Jenes einfache Instrument, die Maultrommel, besteht bekanntlich aus einer elastischen Stahlzunge, die mit dem einen Ende an einen messingenen oder eisernen Rahmen genietet ist. Das freie Ende der Zunge ist nach auswärts unter einem rechten Winkel gebogen, um mit dem Finger leicht angeschlagen werden zu können, wenn es mit den beiden parallelen Enden des Rahmens fest an die Zähne gedrückt wird. Was wir über dieses Instrument, auf welchem einige Virtuosen (³) Treff-

---

2) *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Maultrommel S. 931.

3) Als noch jetzt lebende Virtuosen dieses Instrumentes sind namentlich *Scheibler* in Crefeld, und *Eulenstein* aus Württemberg zu nennen. Einige nähere Nachrichten sowohl über die eben Genannten als auch über einige Andere findet man in folgender Schrift: Die physiologischen und pathologischen Verhältnisse der menschlichen Stimme, oder Untersuchungen über das Wesen und die Bildung der menschlichen Stimme, ihre krankhaften Zustände und Beseitigung derselben. Von *F. Bennati.* Nach dem Französ. frei bearbeitet. Mit 3 Kupfert. Ilmenau, 1833. b. B. F. Voigt. 8. S. 28 ff. in d. Anm.

liches leisten, hier erwähnen wollen, ist aus Bennati's [4] und Wheatstone's [5] Untersuchungen geschöpft. Dieses Instrument hat nur einen Umfang von 2 Octaven, besitzt aber auch in diesen nicht alle Töne der Scala; daher bedienen sich Virtuosen gleichzeitig mehrerer in verschiedene Töne gestimmter Instrumente dieser Art, um die Scala vollständig zu machen [6]. Die Töne, welche sich mittelst eines solchen Instrumentes hervorbringen lassen, werden in *natürliche* und *künstliche* (oder *Zwischen-Töne*) eingetheilt. Die Höhe der erstern hängt besonders von der Grösse der Mundhöhle ab; deshalb kommt beim Spiele dieses Instruments vorzüglich die Bewegung der Zunge in Betracht, welche nach der Breite anschwillt und sich mit ihrer Basis gegen das Gaumengewölbe erhebt und so einen Canal bildet, welcher dem beim Pfeifen im Munde sich bildenden sehr ähnlich ist. Der Kehlkopf scheint dabei wie eine Windröhre zu wirken. Wenn er sich erhebt, so muss er auch in allen seinen Dimensionen enger werden und dadurch den Luftstrom vermindern, während, so bald er sich senkt, das Gegentheil Statt findet. Da man auch ohne Beihülfe der Lippen spielen kann, indem man das Instrument mit den Zähnen fasst, dann aber nicht so vernehmliche und so wohlklingende Töne erhält als sonst, so folgert Bennati [7] daraus, dass die Thätigkeit der Lippen dazu diene, die von der Zungenbasis und dem Gaumensegel (welches wie eine Klappe die Richtung des Athems regulirt) gebildeten Töne zu verstärken. Die den natürlichen entgegengesetzten künstlichen oder Zwischentöne entstehen nur durch Hülfe der natürlichen selbst. Es ist, um sie hervorzubringen, ein langer Athem nöthig, indem man

---

4) A. a. O. 5) S. *W. Weber's* Mittheilung dieser Untersuchungen in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 23. (53.) S. 331 ff. 6) *Bennati* a. a. O. S. 29. *Eulenstein* bedient sich gleichzeitig der Tonreihen von 16 Maultrommeln, und kann alsdann durch alle Tonarten moduliren und wahrhaft originelle und äusserst schöne Wirkungen damit hervorbringen, s. *Wheatstone* a. a. O. S. 332. 7) Ebend. S. 31.

zuerst den einem solchen Tone zunächst liegenden natürlichen bildet, und dann durch einen neuen Luftstoss den natürlichen Ton in den künstlichen umwandelt (8). — Diesen bis hieher aus Bennati's Schrift geschöpften Erläuterungen füge ich jetzt noch die von Wheatstone bei: »Die Schwingungen der Zunge selbst würden einen sehr tiefen Ton geben. Bringt man das Instrument aber in den Mund, und ändert durch verschiedene Bewegungen der Zunge und Lippen den innern Raum des Mundes, so wird, wenn die dem eingeschlossenen Luftraume zukommende Zahl von Schwingungen ein Multiplum von der Zahl der Schwingungen der selbsttönenden Zunge ist, der der Mundhöhle zukommende Ton gehört. Ist z. B. der Grundton der Zunge gross C, so können durch Mittheilung ihrer Schwingungen an den Luftraum im Munde folgende Töne entstehen:

Multipla der Grundschwingungen der Zunge:

$\overset{\circ}{1}$....$\overset{\circ}{2}$....3....$\overset{\circ}{4}$....5....6....7....$\overset{\circ}{8}$....9....10...

Die entsprechenden Töne:

C c g $\bar{c}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$ $\bar{b}$ $\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{d}}$ $\bar{\bar{e}}$

Multipla der Grundschwingungen der Zunge:

11....12....13....14....15....$\overset{\circ}{16}$ u. s. w. $\overset{\circ}{32}$.

Die entsprechenden Töne:

$\bar{\bar{f}}$+ $\bar{\bar{g}}$ $\bar{\bar{a}}$— $\bar{\bar{b}}$ $\bar{\bar{h}}$ $\bar{\bar{\bar{c}}}$ $\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$

Bei den gewöhnlichen Maultrommeln können die 3 ersten Töne der Reihe nicht hervorgebracht werden, weil die Höhlung im Munde für sie nicht weit genug gemacht werden kann. Wheatstone befestigte eine Maultrommel

---

8) Der Übersetzer der Schrift von *Bennati* vergleicht (S. 29.) diese Bildung der Zwischentöne mit derjenigen, welche Hornisten, Trompeter u. s. w. anwenden müssen, um ihre künstlichen, die sogenannten gestopften Töne zu erzeugen, oder mit ihrem Verfahren, wodurch sie von Natur unreine Töne ihres Instruments, z. B. das Fis des C-Horns durch das »Treiben« des Tones verbessern. Vgl. über das sogenannte Treiben *G. Weber's* A. Blasinstrumente, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 328 f.

mit den beiden Enden, die gewöhnlich fest an den Zähnen anliegen, doch so, dass die Zunge hinreichenden Raum zu den freiesten Schwingungen hatte, und bewirkte durch Ankleben von etwas Wachs an ihr freies Ende, dass ihr Ton gerade gross C war, welcher Ton von einer an einem Ende verschlossenen, 4 Fuss langen Röhre hervorgebracht werden kann. Nun brachte er das offene Ende einer 2 Fuss langen, 1 Zoll weiten, am andern Ende durch einen beweglichen Stempel verschlossenen Röhre nahe an die Zunge, so dass die Luftsäule beliebig verkürzt werden konnte. Wurde dann die Zunge angeschlagen, so wurde die Octave ihres Grundtons gehört. Wurde die Luftsäule noch mehr verkürzt, so dass sie nur den dritten, vierten, fünften, sechsten, siebenten Theil u. s. w. von 4 Fuss betrug, so wurden nach und nach alle Töne der oben angeführten Reihe hervorgebracht. Ist die Länge der Röhre genau eine von den angeführten Längen, so ist der Ton am stärksten, doch hört man ihn auch noch, und zwar von ungeänderter Höhe, aber schwächer, wenn die Luftsäule innerhalb gewisser Grenzen verlängert oder verkürzt wird (9).

Da nun bei diesem Instrumente sowohl als bei allen Zungenwerken überhaupt die Zunge des Instruments und die Luft des Mundes oder der Röhre zusammen isochronische Schwingungen machen, indem entweder der eine Körper allein sich dem andern, oder beide sich gegenseitig in Hinsicht der Schwingungszeit accommodiren, so würde man aus jenen Beobachtungen Wheatstone's folgern müssen, dass bei diesem Instrumente sich vorzugsweise die Zunge

9) Analogien zu dieser letztern Beobachtung findet man § 26. C. Man vergl. auch *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 423. 426. *Wheatstone* fügt a. a. O. S. 333. zu dem bisher Angeführten noch hinzu: »Man sieht leicht ein, wie mit einer und derselben Luftsäule 2 oder 3 Töne eines Accords gleichzeitig hervorgebracht werden können. *Eulenstein* bringt z. B. den Accord $\bar{c}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$ auf folgende Weise hervor. Er nimmt 3 Maultrommeln, bei welchen allen der vierte Ton der obigen Reihe (also $\bar{c}$) der tiefste ist, welcher auf ihnen hervorgebracht werden kann. Dem Munde gibt er die passendste Weite für $\bar{c}$. Die beiden andern Töne $\bar{e}$ und $\bar{g}$ werden dann auch verstärkt, aber schwach.«

der Luft accommodirt; denn die obige Reihe kann nicht die Tonreihe der Zunge an und für sich sein, weil dieser, gleich einem Stabe, der an dem einen Ende frei, am andern Ende befestigt ist, eine ganz andere Reihenfolge der Töne eigen ist (s. § 20. S. 161.). Eben so wenig würde eine und dieselbe Luftsäule einer an einem Ende verschlossenen Röhre jene ganze Tonreihe hervorzubringen im Stande sein, sondern gewisse Töne nur nach gewissen Veränderungen ihrer Dimensionen. Wohl aber vermag eine und dieselbe Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre alle jene Töne zu geben (vgl. § 18. S. 130.).

β) Die *Mundharmonika.*

Während in der Maultrommel nur Eine Zunge vorhanden ist, sind in der Mundharmonika mehrere Zungen in demselben Rahmen zusammengestellt. Sie besteht nämlich, wie bei der jetzigen Verbreitung dieses Instrumentes Jeder weiss, aus einer kleinen Metallplatte, worin längliche rectanguläre Löcher, jedes zur Aufnahme seines Zungenblättchens, eingeschnitten sind. In diese Öffnungen passen dünne Plättchen (Zungen) von Metall, die an dem einen Ende angelöthet sind. Sie müssen so in ihrem Rahmen schwingen können, dass sie denselben nicht berühren, und werden dadurch in Schwingung gesetzt, dass man die Platte, als ihren gemeinschaftlichen Rahmen, gegen die Lippen andrückt und die Luft gegen die Zunge bläst, wodurch ein klarer Ton entsteht, der nach der Länge und Stärke der Zunge verschieden ist ([10]).

γ) Die *Äoline* ([11]) oder das *Äolodikon.*

Ein Tasteninstrument, welches, obgleich äusserlich von der Form eines Pianoforte nicht verschieden, von Seiten

10) *Müller* a. a. O. S. 142.

11) Zur Verhütung eines Missverständnisses muss erinnert werden, dass hier *Äoline* gleichbedeutend mit *Äolodikon* ist, wie *Chladni* es in s. Beytr. z. prakt. Akust. S. 6. gebraucht. Ausserdem aber führen diesen Namen noch 2 andere Instrumente 1) eine gewisse neuere Art von Zungenpfeifen der Orgel, von denen *Nase* A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S. 178 f. eine kurze Beschrei-

der den Ton bestimmenden Körper sich nicht wesentlich von der eben genannten Mundharmonika unterscheidet. Denn auch hier sind dünne Metallstreifen (Zungen) über länglich rectangulären Löchern befestigt. Während aber die Zungen der erstern durch Blasen mit dem Munde in Schwingungen gesetzt werden, wird dieses beim Äolodikon mittelst einer Windlade bewirkt, die auf gleiche Weise wie bei der Orgel durch einen Blasebalg gefüllt wird, den der vor dem Instrumente sitzende Spieler tritt und durch Niederdrücken der den einzelnen Tönen entsprechenden Tasten den Wind auf diejenigen Zungen hinleitet, mittelst deren die beabsichtigten Töne hervorgebracht werden ([12]).

δ) Die sogenannten *Mundstücke* ([13]).

Diese werden zwar nicht so allein als Instrumente gebraucht; da sie aber für sich allein schon einen Ton geben, so scheint es zweckmässig, dieselben erst allein zu betrachten. Ein solches Mundstück besteht aus einer metallenen oder hölzernen halbcylindrischen oder rechtwinkelig prismatischen Rinne ([14]), die, falls sie halbcylindrisch ist, an ihrer flachen Seite; falls sie aber parallelepipedisch ist, an einer ihrer 4 Seiten mit einer länglichen dünnen elastischen Platte (Zunge), die entweder aus Metall oder

---

bung gibt. Ferner hat 2) *Marx* den von ihm erfundenen Apparat, mittelst einer gespannten Membran von Kautschuk Töne zu erzeugen, gleichfalls *Äoline* genannt, s. *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 5. (65.) S. 151. Vgl. § 23. S. 283. 12) Vgl. *G. Weber* in d. Cäcilia Bd. I. S. 92. 13) Im Französischen nennt man das Mundstück oder auch das blosse Zungenblatt *anche*, und deshalb die Zungenwerke selbst *tuyaux à anche* (im Gegensatz der Flötenwerke oder Labialpfeifen, welche *tuyaux à bouche* heissen). Das Mundstück führt bei einzelnen Instrumenten besondere Namen. Bei der Hoboe und dem Fagott heisst es das *Rohr*, bei der Flûte douce, der Clarinette und dem Bassetthorn wird es *Schnabel* genannt, s. *Koch*: mus. Lex. u. d. WW. S. 985. 1270. 1301. 14) Bei den Zungenpfeifen der Orgeln ist die Rinne gewöhnlich halbcylindrisch; sie kann aber auch parallelepipedisch sein, welche letztere Gestalt, nach *W. Weber* (in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 196.), vor jener noch gewisse Vortheile hat. Auch *Grenié* gibt ihr die letztere Gestalt (s. *Biot* II. S. 103.). Bei gewissen Blasinstrumenten hat das Mundstück eine schnabelförmige Gestalt, so bei der Flûte douce, die deshalb auch Flûte à bec heisst, s. *Koch*: mus. Lex. u. d. W. S. 585. — In Betreff des Stoffes des Mundstücks erwähne ich noch, dass es bei manchen Blasinstrumenten, z. B. der Clarinette, auch beinern ist, s. *G. Weber* in d. Cäcilia B. XI. S. 36.

Holz besteht ([15]), ihrer Länge nach bedeckt ist, aber so, dass diese Zunge nur einem Theile nach darauf befestigt ([16]), einem Theile nach aber frei ist. Diese freie

15) Bei den Zungenpfeifen der Orgel ist die Zunge gewöhnlich von federhartem Messing (s. *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Orgel S. 1118. — *Naue* A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. 1. Th. V. 178.). Sie kann aber, nach *W. Weber* (in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 14. (90.) S. 405. Bd. 16. (92.) S. 196. 431. Bd. 17. (93.) S. 225.) aus Silber, Eisen, Kupfer, einer Legirung von Silber und Kupfer, besonders aber auch aus der unter dem Namen Argentan oder Neusilber bekannten Legirung von Kupfer, Zink und Nikel verfertigt werden. Bei der Hoboe und dem Fagott bestehen die 2 an einander liegenden Zungenblätter aus Schilfrohr (*Koch*: mus. Lex. u. d. W. Rohr S. 1270.); bei der Clarinette und dem Bassetthorn wird das Blatt (das hier nur Eines ist) gewöhnlich aus spanischem Rohrholz, von Manchen auch wohl von Fischbein, oder von gewöhnlichem Tannen- oder Kiefernholze geschnitten. Die aus diesem letztern Holze gefertigten sollen von ganz vorzüglich schöner und leichter Ansprache, aber ohne Dauer sein, s. *G. Weber* in d. Cäcilia Bd. XI. S. 36., u. A. Blatt, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 345. 16) Bei den Zungenpfeifen der Orgel ist die Zunge, so weit sie unbeweglich bleiben soll, auf die Öffnung der Rinne festgelöthet, während der übrige Theil frei ist. Um diesen freien Theil des Zungenblattes in der gehörigen Entfernung von dem Rande der Rinne zu erhalten, bedient man sich gewöhnlich eines gebogenen Eisen- oder gehärteten Messingdrahtes, den man an der Aussenseite der Zunge anbringt und sie so durch dessen Federkraft gegen die Rinne angedrückt erhält. Dieser Draht, welchen man den *Drücker* oder noch gewöhnlicher die *Krücke* nennt, ist so angebracht, dass er auf- und abwärts geschoben werden kann, um zugleich noch einen andern Zweck, das Stimmen, dadurch zu erreichen. Je näher nämlich die Stelle, wo die Krücke gegen die Zunge drückt, dem freien Ende der letztern ist, desto kürzer wird dadurch der freie Theil der Zunge, weil sie nur von jener Stelle an bis zu ihrem freien Ende als wirklich frei beweglich betrachtet werden kann. Natürlich macht sie, je kürzer sie auf diese Weise geworden ist, auch um so schnellere Schwingungen, und bewirkt so einen um so höhern Ton. Das Gegentheil erfolgt, wenn die Stelle, wo die Krücke gegen die Zunge drückt, von dem freien Ende der letztern weiter entfernt wird. In dieser Hinsicht nennt man die Krücke auch *Stimmkrücke* (s. d. Abbildung dieser Vorrichtung bei *Biot* II. Taf. VI. Fig. 50.). So gewöhnlich aber auch diese Vorrichtung ist, so mangelhaft ist sie doch, weil die Krücke nie die Zunge so fest andrückt, dass nicht auch ein jenseit der angedrückten Stelle liegender Theil noch sollte mitschwingen können (vgl. *Fechner*: Repert. I. S. 317.), wovon dann eine minder genaue Stimmung die nothwendige Folge sein muss. (Auch die *Grenié*'schen Zungenpfeifen leiden an diesem Fehler, da er sich begnügte, die alte Einrichtung nur durch grössere Stärke der Drähte einigermassen zu verbessern, vgl. *Biot* II. S. 101 f.) Man hat aber in Deutschland schon längst gelernt, solcher Krücken ganz zu entbehren, und die bestimmte Abgrenzung des schwingenden Theiles der Zunge überhaupt, und die etwa nöthige Vergrösserung oder Verminderung desselben (das Stimmen) durch *Stellschrauben* zu bewirken, weil nur so die beabsichtigte Länge derselben ganz genau erreicht und unverrückt erhalten wird. Die zweckmässigste Einrichtung solcher Schrauben ist die von *W. Weber* erfundene, deren Abbildung man in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 14. (90.) Taf. VI., in d. Cäcilia Bd. XI. bei S. 200. findet. — Bei der Clarinette und dem Bassetthorn geschieht die Befestigung des Blattes auf dem sogenannten Schnabel (wie man bei diesen Instrumenten die Rinne und das ganze Mundstück nennt) gewöhnlich durch Bewickeln mit Bindfaden; neuerlich aber hat man angefangen, es durch einen Ring von Messing- oder Silberblech, welchen eine Stellschraube beliebig fest anzieht, zu befestigen, eine Vorrichtung, welche augenscheinlich sicherer und haltbarer ist, als die zuerst erwähnte. (S. *G. Weber* A. Blatt, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 345.)

Beweglichkeit des einen Theiles der Zunge hat indess 2 Grade, die sorgfältig unterschieden werden müssen:

1) Sie kann sich nur *nach aussen* frei bewegen, nicht aber nach innen, indem sie, so oft sie nach einer auswärts gehenden Schwingung, der Bewegung elastischer Körper gemäss, auch nach innen sich bewegen will, auf den äussern Rand (Rahmen) der Rinne aufschlägt, wodurch der Klang schnarrend, rauh und schreiend wird. Man nennt deshalb diese Art von Zungen *aufschlagende Zungen* ([17]), und die Instrumente selbst, die man sonst *Rohrwerke* zu nennen pflegt, heissen jenes Schnarrens wegen auch *Schnarrwerke* ([18]).

2) Sie kann sich *nach aussen und nach innen* frei bewegen. In diesem Falle müssen die Dimensionen der Zunge, wenn das Instrument die möglichste Vollkommenheit haben soll, so abgemessen werden, dass sie zwar die Öffnung, über welcher sie liegt, genau zu decken, doch aber auch, ohne an die Ränder der Öffnung anzustreifen, sich frei hinein- und herauszubewegen vermag ([19]). Diese Art von Zungen nennt man *durchschlagende* ([20]), oder *einschlagende* ([21]), oder vorzugsweise *frei schwingende Zungen* ([22]).

Die erstere Art von Zungen ist die ältere, aber auch noch jetzt gemeinübliche. Die letztere Art hingegen ist bei Blasinstrumenten noch gar nicht, bei den Zungenpfeifen der Orgel bis jetzt nur selten angewandt, vielleicht ihrer weniger imponirenden Wirkung halber. Als Erfinder dieser Art wird von Biot ([23]) und Perne ([24]) ein noch jetzt leben-

17) S. z. B. *Wilke* in d. Cäcilia Bd. XVI. S. 64. 18) *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Orgel. S. 1118., u. u. d. W. Schnarrwerk S. 1301 f. — *G. Weber* A. Blasinstrumente, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 327. 19) *W. Weber*: Compensation der Orgelpfeifen, in d. Cäcilia Bd. XI. S. 183. 20) Ebend. S. 193. 21) *G. Weber*: in d. Cäcilia Bd. XI. S. 186. 22) Ebend. S. 183 ff. 193. — *Wilke* a. a. O. S. 64. 23) Bd. II. S. 103. 24) In einem in öffentlichen Blättern abgedruckten Berichte, woron man eine deutsche Übersetzung in d. Leipziger Musikal. Zeitung Jahrg. 1821. No. 9. 10. findet.

der Franzose Namens **Grenié** genannt; allein **Wilke** (25) und G. **Weber** (26) haben nachgewiesen, dass der erste Erfinder der Deutsche **Kratzenstein** war, welcher in Petersburg unter der Regierung der Kaiserin Katharina lebte.

Bei beiden Arten von Zungen ist dasjenige Ende der Rinne, an welchem sich das freie Ende der Zunge befindet, mit einem Deckel verschlossen (27), das andere Ende aber ist offen, so dass der zwischen der Zunge und dem Rahmen in die Rinne eintretenden Luft der Austritt in die Atmosphäre oder in eine Röhre verstattet ist, die man zur Hervorbringung der Zungenpfeife oder des Blasinstrumentes mit dem Mundstück in Verbindung setzt. Durch diese Öffnung unterscheidet sich ein Mundstück mit durchschlagender Zunge von einer Mundharmonika, während die übrige Einrichtung beider im Wesentlichen dieselbe ist. Deshalb kann die letztere nur von Einer Seite, von der nämlich, wo das frei schwingende Ende der Zunge ist; ein Mundstück dagegen an und für sich von beiden Seiten angeblasen werden.

Um nun mittelst eines solchen Mundstücks einen Ton zu erzeugen, muss die Zunge desselben in Schwingung versetzt werden. Dabei verfährt man auf folgende Weisen:

a) Entweder steckt man den Theil des Mundstücks, an welchem sich das freie Ende der Zunge befindet, in den *Mund*, aber so, dass diese nicht am freien Schwingen gehindert wird. So geschieht es bei der *Hoboe*,

---

25) In d. angef. mus. Ztg. Jahrg. 1823. No. 10. S. 149. 26) In d. Cäcilia Bd. XI. S. 184 f. vgl. S. 193., u. A. Blatt, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 345 f. — An beiden Stellen nennt er zugleich mehrere Orgeln, deren Zungenpfeifen mit Zungen dieser letztern Art versehen sind. — Auch *Willis* rügt jenen Irrthum *Biot's*, s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 24. (100.) S. 402. 27) *Willis* erklärt (a. a. O. S. 431.) diese Stelle, welche man bisher für die Zunge gewählt hat, für die möglichst schlechteste, und behauptet, dass sie vielmehr an der Mündung der Röhre angebracht werden müsse, weil die Störung, welche Zunge und Luftsäule durch ihre Verbindung gegenseitig in ihren Schwingungen bewirkten, bei jener Stellung der Zunge, wenn sie am Boden angebracht ist, am grössten sei, am kleinsten dagegen, wenn sie sich an der Mündung befinde.

dem *Fagott*, der *Clarinette*, dem *Bassetthorn*, der *Flûte douce.*

b) Oder es wird jener Theil in die obere Öffnung eines *hohlen Behälters* von der Weite, dass die Zunge ungehindert schwingen kann, eingesetzt und durch die untere Öffnung dieses Behälters geblasen

aa) entweder mittelst des *Mundes.* So geschah es bei den veralteten Blasinstrumenten, welche man *Pommer* oder *Bombarde* (28) nannte, von denen nur noch die kleinste Art derselben, der *Discantpommer* oder, um die bekanntern Namen zu gebrauchen, die *Schallmey* (*Chalumeau*) oder *Schäferpfeife* noch hie und da üblich ist. Bei dieser Art von Blasinstrumenten steckt das die Zunge bildende Rohr nebst der Rinne, auf welcher es befestigt ist, in einer Kapsel oder Büchse, die ein Mundloch hat, durch welches die Luft mit dem Munde in die Büchse geblasen und dadurch das Rohr in Schwingung versetzt wird.

bb) oder mittelst eines *Blasebalgs.* Dieses findet bekanntlich bei den Zungenpfeifen der Orgel Statt, wo das Mundstück mittelst eines Pfropfes, durch den es hindurchgeht, in eine Röhre, den sogenannten *Stiefel*, eingesetzt ist. In diese dringt der Wind des Blasebalgs durch die Öffnung ein, welche sich unten an dem Ende, womit die Pfeife auf der Windlade ruht, befindet (29).

---

28) Dieser Name stammt zunächst von dem italienischen Namen *Bombardi*, den man wohl von dem Zeitworte *bombare* (summen, brummen) herzuleiten hat. Diese Instrumente waren vor ungefähr 200 Jahren sehr gebräuchlich, und zerfielen in folgende Gattungen 1) den *grossen Basspommer*, ital. *Bombardone* genannt, 2) den gewöhnlichen *Basspommer*, ital. *Bombardo*, 3) den *Tenorpommer*, auch *Bassettpommer* genannt, 4) den sogenannten *Nicolo*, 5) den *Altpommer*, *Bombardo piccolo*, und 6) den *Discantpommer* oder die *Schallmey* oder *Schäferpfeife.* Ausführlicheres hierüber findet man in *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Pommer S. 1161 ff. u. u. d. W. Schallmey S. 1295.

29) S. d. Abbild. bei *Biot* II. Taf. VI. Fig. 46.

Bei der genauern Erläuterung der Tonerzeugung dieser musikalischen Instrumente müssen die obigen beiden Arten von Zungen sorgfältig unterschieden werden, da nicht bloss die Qualität, sondern auch die Quantität der Töne dadurch verändert wird, jenachdem man die eine oder die andere in Anwendung bringt. Es fehlt aber noch viel daran, dass bei allen hieher gehörigen Instrumenten der wahre Vorgang bei der Tonerzeugung sollte genau ermittelt sein. Nur über die Zungenpfeifen mit durchschlagenden Zungen ist durch die gründlichen Untersuchungen W. Weber's ([30]) Licht verbreitet und eine sichere Theorie aufgestellt.

Schwingungen durchschlagender Zungen, und Töne der Mundstücke, die mit solchen versehen sind.

Die Art, wie die Zunge durch jenes Anblasen in Schwingung gesetzt wird, ist folgende. Es dringt, wenn auf jene Weise geblasen wird, zwischen dem freien Rande der Zunge, welcher im ruhigen Zustande etwas über die Öffnung erhoben ist, und dem Rande der Öffnung etwas Luft ein; allein da nicht alle Luft schnell genug durch diesen engen Zwischenraum entweichen kann, so wird durch die übrige Luft die Zunge gegen das Loch und in dasselbe hineingedrückt, und damit zugleich dem fernern Durchgange der Luft durch das Mundstück der Weg verschlossen. Auf diesem Wege entfernt sie sich nach dem Gesetze der Trägheit von dem stossenden Luftstrome so weit, bis die Elasticität der Zunge, die im Maasse ihrer Beugung wächst, ihrer Geschwindigkeit das Gleichgewicht hält. Da der Druck der Luft indess fortdauert, so würde die Zunge bei anhal-

30) In s. Dissertation: Leges oscillationis oriundae si duo corpora diversa celeritate oscillantia ita coniunguntur, ut oscillare non possint nisi simul et synchronice, exemplo illustratae tuborum linguatorum. Halae, 1827., ferner in *Poggendorff's* Annal. Bd. 14. (90.) S. 397 ff. Bd. 16. (92.) S. 193 ff. 385 ff. Bd. 17. (93.) S. 244 ff., und in d. Cäcilia Bd. XI. S. 181 ff. — Einen Auszug aus jener Dissert. hat *Chladni* in d. Cäcilia Bd. VIII. S. 91 ff., und aus *W. Weber's* Untersuchungen überhaupt *Fechner* in s. Repert. I. S. 314 ff. gegeben. — Man vgl. hiermit die Untersuchungen von *Willis* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 24. (100.) S. 397 ff.

tendem Anblasen in dieser Lage verharren; allein 1) ist der Druck der Luft bei abgewendeter Zunge viel geringer als vorher, da die Zunge noch über der Öffnung stand, sie wird daher durch ihre Elasticität zum Rückgang genöthigt. Dazu wirkt aber in dem mit einer Röhre versehenen Mundstücke noch 2) die in dieser Röhre enthaltene Luft, welche, durch die Zunge in Schwingung versetzt, diese gleichfalls zurücktreibt. Ist auf diese Weise die Zunge wieder über den Rand der Öffnung zurückgetrieben, so dringt abermals etwas Luft in das nun frei gewordene Loch des Mundstücks, worauf wiederum die Zunge in das Loch hineingedrückt wird. Diese Abwechselung der Öffnung und Verschliessung dauert so lange fort, als das Blasen fortgesetzt wird ([31]).

Die Erfahrung lehrt, dass die Tonhöhe des Mundstücks dadurch keine Änderung erleidet, dass die Dimensionen des Lochs die der Zunge etwas übertreffen, wobei dann nie ein vollkommener Verschluss der Öffnung Statt finden kann. Nur spricht der Ton um so schwieriger an und lässt sich um so schwerer verstärken und schwächen, einen je grössern Zwischenraum man zwischen den Rändern der Zunge und denen des Loches lässt.

Das als Zunge dienende Metallblatt ist als ein sehr flacher Stab anzusehen, und folgt dem Gesetze schwingender Stäbe, zufolge dessen die Schwingungszahlen zweier Stäbe von gleicher Dicke und Materie, aber ungleicher Länge, sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Längen verhalten. Die Verbindung mit der kurzen Rinne, welche das Mundstück bildet, ändert nicht die Tonhöhe der Zunge, wohl aber die Stärke des Tones ab. Denn nimmt man das Blatt von dem Mundstücke ab, spannt es, so weit der Theil reicht, welcher auf dem Mundstücke sonst festgelöthet ist,

31) *Fechner*: a. a. O. S. 315 f. — *Müller*: Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 143.

in einen Schraubstock fest ein, so dass nur der Theil schwingen kann, welcher am Mundstücke schwingt, und setzt nun diesen Theil durch einen Anstoss in Schwingung ([32]), so gibt er einen schwachen Ton, der aber gleiche Höhe hat mit dem der am Mundstücke befestigten Zunge ([33]). Die Tonhöhe des Mundstückes hängt demnach von den Dimensionen und der Elasticität der Zunge ab. Indess hat auch die Stärke des Blasens auf ihre Tonhöhe in sofern Einfluss, als davon die Schwingungsweite der Zunge abhängt. Denn je grösser die Excursionen der schwingenden Zunge (wie eines Stabes überhaupt) sind, desto geringer ist zugleich ihre Geschwindigkeit, desto tiefer also auch ihr Ton; und eben so umgekehrt im entgegengesetzten Falle. Da nun bei stärkerem Anblasen ihre Schwingungen grösser, also langsamer werden, so wird ihr Ton tiefer; bei schwächerem Anblasen dagegen ist er höher, weil dadurch kleinere, mithin schnellere Schwingungen bewirkt werden ([34]). Hierauf beruht das Bedürfniss der *Compensation*, wovon weiter unten die Rede sein wird. — Die chemische Beschaffenheit der Gasart aber, womit sie angeblasen wird, hät keinen Einfluss auf die Tonhöhe ([35]).

---

32) S. *Fechner* a. a. O. S. 317. — *W. Weber* setzte die von dem Mundstücke getrennte und so befestigte Zunge durch Streichen mit dem Violinbogen in Schwingung. *Müller* bewirkte dieses einige Male bei einer von ihrem Rahmen getrennten und so eingespannten Zunge einer Mundharmonika auch dadurch, dass er mittelst eines feinen Röhrchens in einer auf die Oberfläche der Zunge senkrechten Richtung aber nicht auf ihre Fläche, sondern auf ihren Rand sehr stark blies (s. Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 144.).
33) S. *Fechner* a. a. O. S. 317. — Diese Gleichheit der Tonhöhe einer Zunge, die man einmal an dem Mundstücke durch Anblasen; dann davon getrennt und in einen Schraubstock eingeklemmt durch Streichen mit einem Violinbogen in Schwingung versetzt, ist indess nicht im strengsten Sinne zu nehmen. Denn *W. Weber* selbst bemerkt hierüber (in *Poggendorff's* Annal. Bd. 17. (93.) S. 234.) Folgendes: »Jede veränderte Einklemmung der Platte kann einflussreich auf ihre Schwingungen sein. Insbesondere aber kann die Erregung des Tones einflussreich auf die Schwingungen der Platte sein. Es ist noch gar nicht untersucht worden, ob der Ton einer isolirten Platte nicht dadurch etwas erhöht werde, dass sie durch einen gleichförmigen Druck senkrecht auf die eine ihrer Flächen fortwährend in einer schiefen Lage erhalten wird.« 34) *W. Weber* in d. Cäcilia Bd. XI. S. 184 ff. und in *Poggendorff's* Annal. Bd. 14. (90.) S. 403. — Hiernach ist der Satz in *Fechner's* Repert. I. S. 317.: »Die Tonhöhe des Mundstücks ist ganz unabhängig von der Stärke des Luftstromes;« zu modificiren. 35) S. *Müller* a. a. O. S. 145.

Über die *Schwingungen aufschlagender Zungen und die Töne der Mundstücke, welche mit solchen versehen sind*, ist bis jetzt, meines Wissens, noch weiter keine Untersuchung angestellt oder bekannt gemacht, als die W. Weber's über die Clarinette ([36]), aus der ich hier nur Folgendes mittheile, um dadurch zugleich den Einfluss der Gleich- oder Ungleichmässigkeit der Dimensionen und der Befestigung zu zeigen, (S. 13.): »Die Clarinette ist aus 2 schwingungsfähigen Körpern zusammengesetzt, aus einem Rohrblatte und einer Luftsäule. Die Proportionen der Dicke und Länge und die Befestigung des einen Endes dieses Rohrblattes sind nicht, wie bei der Metallplatte einer Zungenpfeife, von der Art, dass es, wenn es isolirt schwänge, nur eine *bestimmte* Art von Schwingungen machen könnte, und die Dauer dieser Schwingungen sich vollkommen *genau* angeben liesse. Von dieser Beschaffenheit des Rohrblatts der Clarinette und der Unbestimmtheit und des Schwankens der ihm eigenthümlich zukommenden Schwingungen rührt es her, dass die gemeinschaftliche Schwingung des Rohrblattes und der Pfeife zu den Fällen gehört, wo die beiden Schwingungen beider Körper sich häufig auf *verschiedene* Weise ins Gleichgewicht setzen können, und daher der Ton innerhalb enger Grenzen *variabel* ist und nur durch die Kunst des Bläsers seine nähere Bestimmung erhält.« So war z. B. der Ton des von W. Weber angewandten Clarinetten-Mundstückes zwischen $\overline{\overline{\text{fis}}}$ und $\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$ variabel. Im Mittel gab also das isolirt schwingende Rohrblatt $\overline{\overline{\text{a}}}$ (s. S. 14.).

bb) *Zungen mit einem den Ton modificirenden Rohre.*

Durch die Verbindung eines Rohres mit dem Mundstücke hat man 2 Körper vereinigt, deren jeder für sich allein Töne hervorbringen kann. Denn dass das Mundstück

---

36) In d. Cäcilia Bd. XII. S. 3 ff.

schon allein tönen könne, ist so eben gezeigt; dass aber eben so auch die Luftsäule des Rohres, das einer Labialpfeife vergleichbar ist, tönen könne, ist aus § 18. bekannt, wo zugleich der Unterschied und das gegenseitige Verhältniss der Töne gezeigt ist, jenachdem die Luftsäule an beiden Enden von Luft, oder an einem Ende von einem festen Körper begrenzt ist, oder, mit andern Worten, jenachdem sie an beiden Enden offen, oder an einem Ende gedeckt ist. In Betreff der Schwingungszahl (also auch der Tonhöhe) der Luftsäule einer engen offenen Labialpfeife, die ihren Grundton hervorbringt, gilt (wenn man von dem Einflusse der Mündung absieht) die Regel, dass sie in einer Secunde so viele Schwingungen macht, als ihre Länge in dem Raume, den die Schallwelle in einer Secunde durchläuft, enthalten ist. Die Luftsäule einer engen gedeckten Labialpfeife, die ihren Grundton gibt, macht in einer Secunde halb so viele Schwingungen. Die Schwingungszahl und Tonhöhe der offenen sowohl als gedeckten Pfeifen steht demnach im umgekehrten Verhältniss ihrer Länge ([37]).

Der Ton des Mundstücks für sich und der Ton der Luftsäule des Rohrs für sich können ganz verschieden sein; sind aber beide Körper mit einander verbunden, so wirken sie gegenseitig auf einander ein, so dass die Schwingungen der Zunge durch die Schwingungen der Luftsäule, und die Schwingungen der Luftsäule durch die der Zunge bestimmt werden. Immer wird nur Ein Ton gehört ([38]), und dieser ist weder constant derjenige, den das Mundstück für sich allein, noch derjenige, den die Luftsäule des

---

37) S. *Fechner* a. a. O. S. 318.

38) Die Ausnahmen hiervon sind nur scheinbar. Es wird unten erwähnt werden, dass eine Zungenpfeife bei gewissen Längenverhältnissen 2 Töne *nach einander* geben könne, wenn man sie 2 Mal mit verschiedener Stärke anbläst. Dieser Übergang von dem einen Tone zum andern kann aber, nach *Willis* Bemerkung (in *Poggendorff's* Annal. Bd. 24. (100.) S. 419.), so schnell sein, dass man die beiden Töne gleichzeitig zu hören glaubt. Noch eine andere gleichfalls nur scheinbare Ausnahme werde ich unten bei den Blasinstrumenten erwähnen.

Rohres für sich allein geben würde. Es muss also nicht bloss vollkommene Gleichzeitigkeit in den Schwingungen beider Körper Statt finden, sondern auch beide sich einander accommodiren.

Auf welche Weise dieses geschieht, ist von W. Weber bis jetzt nur in Bezug auf *Zungenpfeifen mit durchschlagenden Zungen* und auf die *Clarinette* untersucht und festgestellt. Wir beginnen mit den

Gesetzen, nach denen die Zungenpfeifen oder Rohrwerke mit durchschlagenden Zungen tönen.

Bevor aber diese selbst aufgestellt werden, müssen die verschiedenen Erregungsarten ihrer Schwingungen erwähnt werden. Man kann nämlich, statt des oben S. 446 ff. erwähnten Verfahrens, wobei man gegen das Mundstück bläst, auch die Luft aus dem ihm entgegengesetzten Ende des damit verbundenen Rohres aussaugen oder auch Luft an eben diesem Ende einblasen u. s. f. Überhaupt lassen sich die Arten, Töne aus einer Zungenpfeife hervorzulokken, unter folgende 3 Classen bringen ([39]):

I. Classe. Der Luftstrom drückt die Zunge in die Öffnung des Mundstücks hinein und strebt es zu verschliessen. Diese Erregungsart, welche die gewöhnliche und oben S. 448 f. beschriebene ist, findet dann Statt, wenn auf die Aussenseite der Zunge eine dichtere Luft als auf die innere wirkt.

II. Classe. Der Luftstrom treibt die Zunge von der Öffnung des Mundstücks zurück. Diese Erregungsart findet Statt, wenn auf die Aussenseite der Zunge eine dünnere Luft als auf ihre Innenseite wirkt.

III. Classe. Es geht gar kein Luftstrom durch die Röhre der Zungenpfeife. Dieses ist dann der Fall, wenn

39) S. *Fechner* a. a. O. S. 316 f. und *Chladni* in d. Cäcilia Bd. VIII. S. 105 ff.

man die Röhre der Pfeife verschliesst, während man auf die Zunge des Mundstücks bläst.

I. Classe.

Gesetze, nach denen die Zungenpfeifen tönen, wenn der Luftstrom die Zunge in die Öffnung des Mundstücks hineindrückt und es zu verschliessen strebt.

Bei dieser Erregungsart der Schwingungen ist die die äussere Fläche der Zunge begrenzende Luft *dichter*, als die innere in der Röhre der Zungenpfeife befindliche. Um nun zu bestimmen, welche Töne diese Pfeifen bei diesem Verfahren hervorbringen, untersucht man zuvörderst, welche Länge eine Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre von dem Durchmesser der an das Mundstück angefügten haben müsse, wenn sie denselben Ton, welchen das Mundstück für sich gibt, als ihren Grundton hervorbringen soll. Hat man diese Länge gefunden, so legt man sie als Maassstab an die Zungenpfeife an. Das Resultat dieser Vergleichung wird folgendes sein:

1) entweder die ganze Länge der Zungenpfeife beträgt nicht so viel als jene Länge der bezeichneten offenen Labialpfeife, die als Maassstab dient. Ob und in wie weit sich in diesem Falle der Ton der Zungenpfeife unter den Ton des blossen Mundstücks vertieft, hängt von folgenden Grössenverhältnissen ab:

   a) Ist die ganze Länge der Zungenpfeife kleiner als $\frac{1}{4}$ jenes Maassstabes, so ist der Ton der Zungenpfeife merklich dem Tone der für sich in Schwingung gesetzten Zunge gleich.

   b) Fällt die ganze Länge der Zungenpfeife zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$ der Länge jenes Maassstabes, so nähert sich der Ton der unter a. bemerkten Grenze, und zwar um so mehr, je weniger die Länge über $\frac{1}{4}$ des Maassstabes hinausgeht.

c) Fällt die ganze Länge der Zungenpfeife zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ jenes Maassstabes, so nähert sich der Ton der bei d. zu erwähnenden Grenze, und zwar um so mehr, je mehr die Länge sich der von $\frac{3}{4}$ des Maasses nähert.

d) Ist die ganze Länge der Zungenpfeife grösser als $\frac{3}{4}$ jenes Maassstabes, so ist, wenn die Länge der von $\frac{4}{4}$ näher als der von $\frac{3}{4}$ kommt, ihr Ton derselbe, welchen eine gedeckte Röhre von der Länge der Zungenpfeife für sich als ihren Grundton gibt, mithin ist der Ton um eine Octave tiefer als der des Mundstücks oder der Zunge für sich; kommt dagegen ihre Länge der von $\frac{3}{4}$ des Maasses näher als der von $\frac{4}{4}$, so ist der Ton etwas weniger tief.

2) oder die Länge der Zungenpfeife beträgt eben so viel als die Länge jener als Maassstab angelegten offenen Röhre. Dann ist die Zungenpfeife je nach der Kraft des Anblasens zweier Töne fähig: eines höhern bei schwächerem Anblasen, eines tiefern bei stärkerem.

a) Der höhere dieser beiden Töne ist der, welcher mit dem Tone der abgesonderten Zunge, oder, was nach S. 449 f. auf dasselbe hinausläuft, mit dem des Mundstücks übereinstimmt, und der zugleich mit dem Tone der Röhre, wenn sie abgesondert als offene Pfeife tönte, übereinstimmen würde.

b) Der tiefere jener beiden Töne ist der, welcher mit dem Tone einer eben so langen, aber *gedeckten* Röhre übereinkommt. Folglich ist der letztere Ton um eine Octave tiefer als der erstere (vgl. S. 128.).

3) oder die Länge der Zungenpfeife beträgt mehr als die Länge jener als Maassstab angelegten offenen Röhre. Hier treten wieder 2 Fälle ein:

a) Entweder ist die Länge der letztern Röhre in der Länge der Zungenpfeife 1, oder 2, oder mehrere

Male aber so enthalten, dass nach Abzug dieser einen, oder doppelten, oder mehrfachen Länge des Maassstabes von der Länge der Zungenpfeife *noch ein Rest bleibt.* Hier sind abermals folgende Fälle zu unterscheiden:

α) Dieser Rest ist kleiner als $\frac{1}{4}$ jenes Maassstabes. Dann ist der Ton der Zungenpfeife merklich dem Tone der für sich in Schwingung gesetzten Zunge gleich.

β) Der Rest fällt in Hinsicht seiner Länge zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$ jenes Maassstabes. Der Ton der Zungenpfeife nähert sich dann der bei α. bemerkten Grenze, und zwar um so mehr, je weniger die Länge des Restes über $\frac{1}{4}$ des Maassstabes hinausgeht.

γ) Der Rest fällt zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ jenes Maassstabes. Der Ton der Zungenpfeife nähert sich dann der unter δ. zu erwähnenden Grenze, und zwar um so mehr, je weniger die Länge des Restes von $\frac{3}{4}$ jenes Maassstabes entfernt ist.

δ) Der Rest ist grösser als $\frac{3}{4}$ jenes Maassstabes. Dann ist der Ton der Zungenpfeife nach dem Gesetze der gedeckten Pfeifen vorauszubestimmen, so nämlich, dass man unter den harmonischen Tönen, welche eine gedeckte Röhre von der Länge der Zungenpfeife für sich zu geben vermag ([40]), denjenigen auswählt, welcher tiefer als der eigenthümliche Ton der Zungenpfeife, aber ihm zunächst ist.

In diesen 4 Fällen α—δ. bewirkt die verschiedene Stärke des Luftstromes nicht wie bei den

---

40) Welcher harmonischen Töne eine gedeckte Labialpfeife fähig ist und wie sich dieselben zu einander und zum Grundtone derselben verhalten, ist § 18. gezeigt.

Labialpfeifen und wie in dem bei 2. bezeichneten Falle ein Erscheinen verschiedener harmonischer Töne, sondern nur kleine Änderungen in der Höhe, indem der Ton bei schwachem Blasen etwas tiefer oder höher als bei starkem Blasen ist, jenachdem der Ton der Zungenpfeife mehr von der Luftsäule oder mehr von der Zunge abhängt. Doch auch diese geringen Änderungen der Tonhöhe treten nur bei den Zungenpfeifen ein, bei welchen Zunge und Röhre nicht in dem Verhältnisse der Compensation stehen. Findet dagegen dieses Verhältniss Statt (s. unten), so ist die Zungenpfeife in jenen 4 Fällen jedes Mal nur eines einzigen, durch die gegebenen Regeln bestimmten Tones fähig, der durch die verschiedene Stärke des Anblasens wohl eine Änderung in der Stärke, nicht aber in seiner Höhe erleiden kann ([41]).

b) Oder die Länge der Zungenpfeife ist ein Multiplum der Länge jenes Maassstabes, d. h. die letztere ist in der Länge der erstern 2, 3 oder mehrere Male enthalten, *ohne dass ein Rest bleibt.* Dann ist die Zungenpfeife je nach der Kraft des Anblasens zweier Töne fähig, eines höhern bei schwächerem Anblasen und eines tiefern bei stärkerem.

α) Der höhere Ton ist stets derjenige Ton aus der Reihe von harmonischen Tönen einer offenen Röhre ([42]) von der Länge der Zungenpfeife, der mit dem Tone der abgesonderten Zunge oder des Mundstücks übereinstimmt.

β) Der tiefere Ton ist der entsprechende harmonische Ton, welchen dieselbe Röhre geben würde, wenn sie als gedeckt tönte.

---

41) *Fechner* a. a. O. S. 319.

42) Die harmonischen Töne der Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre überblickt man nach ihrem gegenseitigen und nach dem zwischen ihnen und dem Grundtone derselben obwaltenden Verhältnisse in der § 18. aufgestellten Tabelle.

Vergleicht man diese Gesetze unter einander, so erkennt man:

1) Der Ton, den ein Mundstück gibt, kann auch nach der Verbindung desselben mit einer Röhre unter gewissen Umständen *ungeändert* bleiben.

2) *Ändert* sich der Ton des Mundstücks nach jener Verbindung mit einer Röhre, so kann er nur *tiefer*, nicht höher werden. Die grösste Vertiefung, die er durch Ansatz einer Röhre erfahren kann, ist eine Octave. Wird die Röhre über diejenige Länge, wo diese grösste Vertiefung des Tones eintritt, hinaus noch weiter verlängert, so erfolgt nicht eine continuirliche Vertiefung des Tones, sondern der Ton springt in dem Maasse, als man durch gewisse Abstufungen der Länge schreitet, immer wieder auf den ursprünglichen Ton des Mundstücks zurück.

3) Bei gewissen Längenverhältnissen der durch die angefügte Röhre gebildeten Zungenpfeife kann der Ton des Mundstücks, je nach der verschiedenen Stärke des Anblasens, entweder *ungeändert* bleiben oder sich *ändern*, d. h. vertiefen. Bei *schwachem* Anblasen bleibt er unter jenen Verhältnissen *unverändert*. Durch *starkes* Anblasen aber wird der Ton der Zungenpfeife unter jenen Verhältnissen entweder um eine Octave, oder Quarte, oder kleine Terz, oder um andere kleinere Intervalle, welche den Zahlen $\frac{7}{8}$, $\frac{9}{10}$, $\frac{11}{12}$ ... entsprechen, unter den Ton des Mundstücks erniedrigt werden, jenachdem der Ton des Mundstücks entweder mit dem Grundtone oder dem ersten, zweiten, dritten, vierten, fünften ... harmonischen Tone der offen tönenden Röhre, die im Obigen als Maassstab diente, übereinstimmt. Um dieses noch anschaulicher zu machen, wiederholen wir hier aus § 18. den Anfang der Tonreihen einer offenen und einer gedeckten Röhre,

wobei wir, wie dort, c als Grundton einer offenen, C als Grundton einer gedeckten Röhre von gleicher Länge beispielsweise annehmen, so dass C der Schwingungszahl 1 entspricht:

Töne einer offenen Röhre	c,	$\bar{c}$,	$\bar{g}$,	$\bar{\bar{c}}$,	$\bar{\bar{e}}$,	$\bar{\bar{g}}$,	$\bar{\bar{ais}}+$,	$\bar{\bar{\bar{c}}}$	u. s. w.
	2,	4,	6,	8,	10,	12,	14,	16	u. s. w.
Töne einer gedeckten Röhre	C,	g,	$\bar{e}$,	$\bar{ais}+$,	$\bar{\bar{d}}$,	$\bar{\bar{fis}}-$,	$\bar{\bar{as}}+$,	$\bar{\bar{h}}$	u. s. w.
	1,	3,	5,	7,	9,	11,	13,	15	u. s. w.

Ist nun der Ton des abgesonderten Mundstücks c, d. h. stimmt er mit dem *Grundtone* der als Maassstab betrachteten offenen Röhre überein, so wird die Zungenpfeife bei jenen Längenverhältnissen bei schwachem Anblasen gleichfalls den Ton c, bei starkem Anblasen den um eine Octave tiefern Ton C geben. Ist der Ton des abgesonderten Mundstücks aber z. B. $\bar{c}$, stimmt er also mit dem *ersten harmonischen Tone* der als Maassstab gebrauchten offenen Röhre überein, so ist auch der Ton der Zungenpfeife unter jenen Verhältnissen bei schwachem Anblasen $\bar{c}$, bei starkem Anblasen dagegen g, welche beiden Töne um das Intervall $\frac{3}{4}$ oder der Quarte aus einander liegen. Gibt das abgesonderte Mundstück $\bar{g}$, also einen Ton, der mit dem *zweiten harmonischen Tone* jener offenen Röhre übereinkommt, so gibt auch die Zungenpfeife unter jenen Verhältnissen, schwach angeblasen, $\bar{g}$; stark angeblasen aber, das um eine kleine Terz oder um das Intervall $\frac{5}{6}$ tiefere $\bar{\bar{e}}$ u. s. f. (43).

Zwar ist in dem Bisherigen bereits angegeben, welchen Einfluss die verschiedenen Längen der angesetzten Röhre auf den Ton des Mundstücks haben; dennoch wird es nicht überflüssig sein, jetzt nochmals denselben an einer an das Mundstück gesetzten, stufenweise verlängerten Röhre, oder, genauer zu reden (da nicht die Röhre, sondern die

---

43) *Fechner* a. a. O. S. 319 f.

in ihr enthaltene Luftsäule schwingt), an einer mit dem Mundstücke verbundenen, stufenweise verlängerten Luftsäule, zu überblicken, wobei wir den *vierten Theil* der Länge einer an beiden Enden offenen Röhre, deren Luftsäule, wenn sie schwingt, denselben Ton als die Zunge oder das Mundstück für sich gibt, durch a bezeichnen ([44]).

1) Setzt man an die Zungenpfeife eine kurze Luftsäule, und verlängert sie stufenweise, bis sie die Länge von a hat, so wird der Ton dabei kaum merklich tiefer, als der Ton war, den die Zunge hatte, als sie, noch ohne mit der Luftsäule der Röhre in Verbindung zu sein, schwang.

2) Während die Länge der Luftsäule stufenweise von a bis 2 a zunimmt, wird der Ton der Zungenpfeife merklich tiefer als der Ton der isolirt schwingenden Zunge; indessen nimmt die Tonhöhe *langsamer* ab, als die Länge der Luftsäule zunimmt.

3) Während die Länge der Luftsäule stufenweise von 2 a bis 3 a zunimmt, weicht der Ton schnell vom Tone der allein schwingenden Zunge ab, und zwar sinkt der Ton *fast eben so schnell*, als die Länge der Luftsäule wächst.

4) Während die Länge der Luftsäule stufenweise von 3 a bis 4 a zunimmt, vertieft sich der Ton noch schneller, bis er zuletzt genau eine ganze *Octave* tiefer als der Ton der Zunge allein ist; die Tonhöhe nimmt dabei *vollkommen eben so schnell* ab, als die Länge der Röhre zunimmt.

5) Beträgt die Länge der Luftsäule 4 a, so erfolgt bei starkem Anblasen derselbe um eine ganze *Octave* tiefere Ton; bei schwachem Anblasen dagegen springt der Ton auf den hohen Ton zurück, welchen die isolirte Zunge gibt.

---

44) S. *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 425 ff., woher das Folgende entnommen ist.

6) Während die Länge der Luftsäule von 4 a bis 5 a wächst, verändert sich der auf den Ton des Mundstücks zurückgesprungene Ton kaum merklich.

7) Während die Länge der Luftsäule von 5 a bis 6 a verlängert wird, ist der Ton merklich tiefer als der Ton der isolirt schwingenden Zunge, indessen sinkt die Tonhöhe in merklich *langsamerem* Verhältnisse, als die Länge der Luftsäule zunimmt.

8) Während die Länge der Luftsäule von 6 a bis 7 a zunimmt, weicht der Ton schnell vom Tone der isolirt schwingenden Zunge ab, und der Ton sinkt *fast eben so schnell*, als die Länge der Luftsäule zunimmt.

9) Während die Länge der Luftsäule von 7 a bis 8 a wächst, vertieft sich der Ton noch schneller, bis er zuletzt eine *Quarte* tiefer als der Ton der isolirten Zunge ist. Der Ton sinkt dabei *vollkommen gleich schnell*, als die Länge der Luftsäule wächst.

10) Beträgt die Länge der Luftsäule 8 a, so erfolgt bei starkem Anblasen derselbe um eine *Quarte* tiefere Ton; bei schwachem Anblasen hingegen springt der Ton auf den hohen Ton der isolirt schwingenden Zunge zurück.

11) Setzt man die Verlängerung der Luftsäule noch weiter fort, so bemerkt man, dass, während dieselbe von 8 a bis 9 a verlängert wird, der auf den hohen Ton des Mundstücks zurückgesprungene Ton kaum merklich sich ändert.

12) Während die Luftsäule von 9 a bis 10 a verlängert wird, ist der Ton merklich tiefer als der Ton der isolirt schwingenden Zunge; indess sinkt der Ton merklich *langsamer* als die Länge der Luftsäule wächst.

13) Während die Länge der Luftsäule von 10 a bis 11 a wächst, weicht der Ton schnell von dem Tone der isolirt schwingenden Zunge ab, und sinkt *fast eben so schnell*, als die Länge der Luftsäule zunimmt.

14) Während die Länge der Luftsäule von 11 a bis 12 a wächst, wird der Ton noch schneller tief, bis er zuletzt um eine *kleine Terz* tiefer als der Ton der isolirten Zunge ist. Der Ton vertieft sich dabei *vollkommen gleich schnell*, als die Länge der Luftsäule wächst.

Bei noch weiter fortgesetzter Verlängerung der Luftsäule wird der Ton nicht nur nicht tiefer, sondern er springt plötzlich auf den hohen Ton zurück, welchen die isolirte Zunge gibt, und dieser hohe Ton wird nun, wenn die Röhre abermals verlängert wird, auf eine ähnliche Weise allmälig tiefer, als es vorher der Fall war.

Aus dem Bisherigen ersieht man, bei welchem Grade der Vertiefung der unter den Ton, welchen die isolirt schwingende Zunge oder das Mundstück für sich gibt, hinabgesunkene Ton der Zungenpfeife wieder in den Ton des Mundstücks hinaufspringt, und welchem Gesetze demnach diese Sprünge folgen. Der erste Sprung geschah um eine Octave, der zweite um eine Quarte, der dritte um eine kleine Terz, wobei die Schwingungszahlen sich wie

$$1:2,\quad 3:4,\quad 5:6$$

verhalten. Bei den folgenden Sprüngen würden sich die Schwingungen wie

$$7:8,\quad 9:10,\quad 11:12,\quad 13:14,\quad 15:16 \text{ u. s. f.}$$

verhalten. Hieraus erhellet, dass, durch je mehr Abstufungen der Röhrenlänge man schon geschritten ist, um so weniger der Ton der Zungenpfeife durch fernere Vergrösserung dieser Länge unter den Ton der isolirt schwingenden Zunge erniedrigt zu werden vermag.

Aus der Vergleichung dieser verschiedenen Vertiefungsstufen mit den obigen beiden Tonreihen einer offenen und einer gedeckten Röhre ersieht man zugleich, dass die Luftsäule in der Zungenpfeife im Anfange jeder Periode (wie

man den Zwischenraum zwischen je 2 auf einander folgenden Sprüngen nennen kann) wie in einer offenen Labialpfeife, am Schlusse jeder Periode aber, in welcher die Länge der Luftsäule jedes Mal fast um 4 a zugenommen hat, wie in einer gedeckten Labialpfeife schwingt ([45]).

Röhren verschiedener Länge geben in Verbindung mit demselben Mundstück nur dann den nämlichen Ton, wenn der Theil, um welchen die eine die andere übertrifft, so gross ist, dass er für sich und offen denselben Ton geben würde, als die ganze Zungenpfeife ([46]).

Theils zur noch vollständigern Verdeutlichung des bis jetzt im Allgemeinen Gesagten, theils zur Modification einzelner zuvor aufgestellter Punkte wird folgende Tabelle einer der von W. Weber ([47]) über diesen Gegenstand angestellten Versuchsreihen dienen, wobei ich aber statt der von ihm gebrauchten Noten die Töne durch Buchstaben bezeichne, und deshalb die Tabelle demgemäss umgestalte. Die Zunge der zu diesen Versuchen angewandten Zungenpfeife war von Messing, $12^{\text{lin.}},9$ lang, $0^{\text{lin.}},22$ dick und $2^{\text{lin.}},5$ breit, und machte, isolirt schwingend, 776 Schwingungen in 1 Secunde, welche Zahl dem Tone $\bar{g}$ entspricht. Die mit ihr verbundenen cylindrischen Röhren waren alle $5^{\text{lin.}},5$ im Lichten weit. Die Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre, welche allein schwingend denselben Ton als diese Zunge gab, war $195^{\text{lin.}},3$ lang. Folglich ist das den vierten Theil einer solchen Luftsäule bezeichnende a hier $= 48^{\text{lin.}},8$ oder $4'' \, 0''',8$. Da aber im Folgenden die Linien nur nach ganzen Zahlen bezeichnet sind, so habe ich, der Kürze wegen, diese 0,8 Linien in der Tabelle unberücksichtigt gelassen.

---

45) S. *W. Weber* a. a. O. S. 436 f. 46) *Chladni's* Auszug aus *W. Weber's* Dissert. in d. Cäcilia Bd. VIII. S. 102 f. — *Fechner* a. a. O. S. 322. 47) A. a. O. S. 428 ff., womit man die Abbildung ebend. Taf. VI. Fig. 3. vergleiche, wo diese Tabelle wie ein Maassstab dargestellt ist.

Längen der Zungenpfeife.	Töne derselben.	Längen der Zungenpfeife.	Töne derselben.	Längen der Zungenpfeife.	Töne derselben.
1″ 6‴	$\bar{g}$	21″ 4‴	$\overline{\text{fis}}$	49″ 1‴	$\overline{\text{dis}}$, $\bar{g}$
2″ 1‴	$\bar{g}$	22″ 5‴	$\overline{\text{fis}}$	51″ 6‴	$\bar{g}$
3″ 5‴	$\bar{g}$	24″ = 6 a	$\bar{f}$	52″ = 13 a	
4″ = a		25″ 6‴	$\bar{f}$	52″ 3‴	$\bar{g}$
4″ 9‴	$\overline{\text{fis}}$	27″	$\bar{e}$	52″ 11‴	$\bar{g}$
5″ 5‴	$\overline{\text{fis}}$	28″ = 7 a		53″ 6‴	$\overline{\text{fis}}$
6″ 1‴	$\overline{\text{fis}}$	28″ 10‴	$\overline{\text{dis}}$	54″ 1‴	$\overline{\text{fis}}$
6″ 7‴	$\overline{\text{fis}}$	30″ 9‴	$\bar{d}$	54″ 8‴	$\overline{\text{fis}}$
6″ 11‴	$\bar{f}$	32″ = 8 a	$\bar{d}$, $\bar{g}$	56″ = 14 a	
7″ 6‴	$\bar{f}$	32″ 9‴	$\bar{d}$, $\bar{g}$	57″ 11‴	$\overline{\text{fis}}$
7″ 10‴	$\bar{e}$	34″ 8‴	$\overline{\text{cis}}$, $\bar{g}$	59″ 7‴	$\bar{f}$
8″ = 2 a		35″ 7‴	$\bar{g}$	60″ = 15 a	
9″ 4‴	$\bar{d}$	36″ = 9 a		61″ 3‴	$\bar{f}$
10″ 9‴	$\bar{c}$	37″ 7‴	$\bar{g}$	62″ 9‴	$\bar{f}$
12″ = 3 a		39″ 4‴	$\overline{\text{fis}}$	64″ = 16 a	$\bar{e}$
12″ 3‴	aïs	40″ = 10 a		65″ 7‴	$\bar{e}$
13″ 8‴	gis	41″ 4‴	$\overline{\text{fis}}$	67″ 8‴	$\bar{e}$, $\bar{g}$
14″ 7‴	g, $\bar{g}$	42″	$\overline{\text{fis}}$	68″ = 17 a	
16″ = 4 a	g, $\bar{g}$	44″ = 11 a		69″ 2‴	$\bar{g}$
16″ 2‴	$\bar{g}$	44″ 8‴	$\bar{f}$	72″ = 18 a	
17″ 10‴	$\bar{g}$	45″ 4‴	$\bar{f}$	72″ 2‴	$\overline{\text{fis}}$
19″ 4‴	$\bar{g}$	46″ 10‴	$\bar{e}$, $\bar{g}$	75″ 2‴	$\overline{\text{fis}}$
20″ = 5 a		48″ = 12 a	$\bar{e}$, $\bar{g}$		

Um die bisher erwähnten Thatsachen auch nach ihren *Ursachen* möglichst zu verdeutlichen, blicken wir nochmals auf die beiden Theile, aus welchen die Zungenpfeife zusammengesetzt ist. Diese sind

1) das Mundstück, oder, wie wir, dem Obigen zufolge, dafür als gleichbedeutend sagen können, die *Zunge*.

2) die Röhre oder, genauer zu reden, die in ihr enthaltene *Luftsäule.*

Beide ([48]) befinden sich beim Tönen der Zungenpfeife in einer stehenden Schwingung. Denn die durch das Anblasen in Schwingung gesetzte Zunge erregt wiederum die Schwingung der Luftsäule. Schwängen beide getrennt von einander, so würden, mit Ausnahme gewisser Fälle, ihre Schwingungszahlen mehr oder weniger von einander verschieden sein; in dieser Vereinigung aber wirken sie auf einander wechselseitig so ein, dass sie stets mit einander isochronisch schwingen. Die Ursache hiervon kann (nach § 26.) sein:

1) eine *einseitige Accommodation* bloss des einen Körpers an den andern, wobei natürlich 2 Fälle möglich sind:

a) Bloss die *Zunge* ändert die ihr an sich zukommende Schwingungszahl, um sie der Schwingungszahl der Luftsäule anzupassen ([49]), während die eigenthümliche Schwingungszahl der Luftsäule dieselbe bleibt, als ihr nach Maassgabe ihrer Länge und Elasticität zukommt. Dieser Fall tritt ein

α) wenn die Luftsäule der Zungenpfeife eine solche Länge hat, dass sie der oben bezeichneten, als Maassstab betrachteten offenen Röhre entweder

48) Dass sich nämlich ausser der Zunge auch die Luftsäule dabei in einer stehenden Schwingung befinde, wird weiter unten dargethan werden. Vgl. *Fechner* a. a. O. S. 326.

49) Hierbei kommt z. B. der Fall vor, wo die elastische Metallplatte, um isochronisch mit der Luftsäule zu schwingen, die Dauer ihrer Schwingungen um das Doppelte ändert, d. h. eine einzige Schwingung in derselben Zeit macht, in welcher sie allein 2 Schwingungen gemacht haben würde; desgleichen kommt der Fall vor, wo dieselbe Platte 3 Schwingungen in derselben Zeit macht, in welcher sie allein nur 2 Schwingungen gemacht haben würde, und diese bedeutenden Änderungen fanden selbst Statt, wenn die Platte aus einem sehr elastischen Metalle, z. B. aus gehämmertem Messing oder gewalztem Eisen bestand, und über ½ Pariser Linie dick, 3 Linien breit und 14 Linien lang war, so dass sie schon mehr einem Klangstabe als einem blossen Bleche glich. *W. Weber* fügt zu diesen Bemerkungen, die er in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 204. mittheilt, noch 2 Tabellen, in welchen er einige seiner Versuche über die in einer Zungenpfeife Statt findenden Änderungen der Dauer der Schwingungen einer Metallplatte, die isochronisch mit einer Luftsäule schwingt, zusammengestellt hat, s. ebend. S. 205 f.

gerade gleich oder ein Multiplum derselben ist, ohne dass ein Rest bei der Abtheilung bleibt, und man bei diesen Längenverhältnissen die Zungenpfeife *stark anbläst.* Denn alsdann ist der Ton stets einer von denen, die eine gedeckte Röhre von gleicher Länge mit der Zungenpfeife zu geben vermag. Warum dieses durch das starke Blasen bewirkt werde, wird weiter unten bei der Vergleichung der Zungenpfeifen mit den offenen und gedeckten Labialpfeifen gezeigt werden. Der Ton der Zungenpfeife ist folglich unter diesen Umständen derselbe, wie der der abgesonderten, aber gedeckten Röhre, und weicht von dem eigenthümlichen Tone, welchen die Zunge für sich geben würde, entweder um eine Octave, oder Quarte, oder kleine Terz, oder ein anderes kleineres Intervall ab. Hier also ist die Gleichheit der Schwingungen beider Körper dadurch bewirkt, dass die Zunge ihre Schwingungen denen der Luftsäule accommodirt hat. Dasselbe findet auch Statt

β) wenn die Länge der Luftsäule zwar *nicht genau* das bei α. angegebene Maass *erreicht*, aber doch nur *um ein Weniges kleiner ist*; denn § 26. ist an mehreren Beispielen gezeigt, dass auch ein Grössenverhältniss, welches einem andern nicht ganz gleich, sondern ihm nur sehr nahe kommt, gleiche Wirkungen wie dieses haben könne. Hieraus erklärt es sich, warum auch dann die bei α. genannte Vertiefung erfolgt, wenn die Länge der Röhre, mit jenem Maassstabe verglichen, nicht ganz = 1, oder 2, oder 3, oder 4 u. s. w. ist, sondern sich nur diesen Verhältnissen sehr nähert, indem sie über $\frac{3}{4}$, oder über $1\frac{3}{4}$, oder über $2\frac{3}{4}$, oder über $3\frac{3}{4}$ u. s. w. beträgt.

Denn auch bei der über $\frac{3}{4}$ hinausreichenden Länge ist der Ton um eine Octave, bei der über $1\frac{3}{4}$ gehenden um eine Quarte u. s. w. tiefer, als der Ton der Zunge für sich.

b) Bloss die *Luftsäule* ändert die ihr an sich zukommende Schwingungszahl, um sie der Schwingungszahl der Zunge anzupassen, während die eigenthümliche Schwingungszahl der Zunge dieselbe bleibt, als ihr nach Maassgabe ihrer Dimensionen und ihrer Elasticität zukommt. Dieser Fall tritt ein

α) bei den unter a. α. angegebenen Längenverhältnissen der Luftsäule, wenn man die Zungenpfeife *schwach anbläst*. Hier drängen sich 2 Fragen auf.

$\alpha\alpha$) Warum hat gerade das *schwache* Blasen diese Wirkung? Die Antwort auf diese Frage wird man unten in den Bemerkungen finden, die bei der Vergleichung der Zungenpfeifen mit offenen und gedeckten Labialpfeifen gemacht sind.

$\beta\beta$) Warum geben Luftsäulen, die = 8 a, 12 a, 16 a, u. s. w. sind, mit gleicher Leichtigkeit wie eine, die = 4 a ist, den hohen Ton der Metallplatte an? Dieser ausser Zweifel gesetzten Thatsache scheint nämlich das Quantitätsverhältniss der Luftsäulen entgegen zu sein ([50]). Allein dieses *scheint* nur auf den ersten Anblick so zu sein. Denn es hängt die Tonhöhe eines schwingenden Körpers nicht sowohl schlechthin von seiner Gesammtlänge, als vielmehr von der Länge des

50) Vgl. über den Einfluss der Quantität des schwingenden Körpers auf seine Tonhöhe § 29.

Zwischenraums ab, der zwischen dem einen Ende des Körpers (bei einem an beiden Enden freien oder befestigten Körper ist dieses Ende beliebig; bei einem Körper dagegen, dessen eines Ende frei oder offen, das andere fest oder verschlossen ist, hat man hierbei an jenes freie oder offene zu denken aus den §§ 18. und 20. angegebenen Gründen) und dem ihm zunächst liegenden festen Punkte desselben Körpers liegt. Dieser feste Punkt (oder auch, je nach der Beschaffenheit des Körpers, feste Linie oder Fläche) ist entweder das andere feste oder verschlossene Ende desselben, oder, falls ein Schwingungsknoten (oder Knotenlinie, oder Knotenfläche) sich gebildet hat, dieser, oder, wenn dergleichen mehrere vorhanden sind, der jenem Ende, von welchem aus die Messung geschieht, zunächst liegende. Die Grösse dieses Zwischenraumes entscheidet über den Einfluss der Länge des Körpers auf seine Tonhöhe. Bleibt nun die Grösse dieses Zwischenraumes bei 2 oder mehreren Körpern dieselbe, so hat ihr Ton einerlei Höhe, wenn auch übrigens ihre Totallänge noch so sehr von einander abweicht, und dadurch die Zahl dieser *gleich grossen* Zwischenräume oder Abtheilungen sich vermehrt ([51]), weil jede dieser Abtheilungen für sich den ihrer Grösse entsprechenden Ton gibt. Man nehme z. B. 4 Saiten, deren eine 1', die zweite 2', die dritte 3', die vierte 4' lang ist, so werden sie, wenn

---

51) S. *W. Weber* in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 16. (92.) S. 434 ff.

alle übrige Umstände dieselben sind, einerlei Ton geben, wenn man sie so schwingen lässt, dass die erste ohne Schwingungsknoten, die zweite mit 1, die dritte mit 2, die vierte mit 3 Schwingungsknoten schwingt. Denn die Theile, in welche jede durch die Schwingungsknoten eingetheilt wird, haben alle die Länge der ersten Saite, oder, mit andern Worten, der Zwischenraum zwischen dem einen Ende und dem nächsten festen Punkte hat bei allen einerlei Maass. Bei den Saiten bewirkt man eine solche Abtheilung in aliquote Theile dadurch, dass man eine Stelle, wohin bei der beabsichtigten Theilung ein Schwingungsknoten fällt, mit dem Finger oder auch einem Kartenblatte sanft berührt; bei den Luftsäulen der Zungenpfeifen dagegen bewirkt die schwingende Zunge diese Eintheilung in aliquote Theile, deren jeder so lang ist, dass er mit der Zunge isochronisch schwingen kann. Diese übt hier nämlich eine ähnliche assimilirende Kraft aus, wie z. B. eine schwingende Saite, welche auf die S. 59. angegebene Weise eine andere, deren Länge ein Multiplum der ihrigen beträgt, veranlasst, sich in solche aliquote Theile abzutheilen, dass sie mit ihr gleichzeitige Schwingungen machen, folglich auch denselben Ton geben kann. Da aber Luftsäulen (mit Ausnahme des Falles, wo bei einer Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre nur Eine Knotenfläche sich bildet) sich anders abtheilen als Saiten, so muss, um dennoch das von diesen Geltende auch auf die Abtheilung jener

anwenden zu können, an das erinnert werden, was § 18. bei den Luftsäulen, so wie § 20. bei den Stäben über die der durch Knotenflächen oder Knotenlinien versichtbarten Eintheilung zu substituirende ideelle Eintheilung gesagt ist, wobei man einen an einem freien Ende liegenden Theil als Maassstab annimmt und darnach eine zwischen 2 festen Punkten liegende doppelt so lange Abtheilung für 2 Theile rechnet. Da nun die oben als Maassstab gebrauchte Luftsäule einer an beiden Enden offenen Röhre, deren Länge = 4 a ist, wenn sie ihren mit dem der Zunge übereinstimmenden Grundton gibt, Eine Knotenfläche bildet, wodurch sie in 2 Theile, deren jeder = 2 a ist, abgetheilt wird, so ist eigentlich 2 a das wahre Maass einer Luftsäule, die, ohne eine Knotenfläche zu bilden, den Ton der Zunge gibt. Ist die Länge der Luftsäule der Zungenpfeife = 8 a, so bilden sich zwar nur 2 Knotenflächen, wodurch die Luftsäule so abgetheilt wird, dass die beiden an den Enden liegenden Abtheilungen ungefähr = 2 a, die zwischen beiden liegende aber ungefähr = 4 a ist; da aber nach der erwähnten ideellen Eintheilung diese letzte Abtheilung als eine Vereinigung zweier betrachtet wird, so erhalten wir demnach 4 Theile, deren jeder = 2 a ist, weshalb der Ton derselbe bleibt, wie da, wo zwar nur 2 Theile vorhanden sind, deren jeder aber ebenfalls = 2 a ist. — Das so eben Gesagte wird hinreichen zur Erläuterung jener Erscheinung, dass eine Zungenpfeife, wenn sie bis

zu 8 a oder 12 a u. s. w. verlängert ist, noch denselben Ton wie bei einer Länge von 4 a geben kann. — Hieran knüpfen wir, weil es uns die geeignetste Stelle zu sein scheint, noch einige zunächst auf das obige a. α. sich beziehende Bemerkungen über die verschiedenen Vertiefungsgrade um eine Octave oder Quarte u. s. w. Obgleich, wie eben erwähnt ist, die Luftsäule einer Zungenpfeife, deren Länge = 8 a oder = 12 a u. s. w. ist, aus dem zuvor angegebenen Grunde denselben Ton gibt, wie die, welche = 4 a ist, so steht doch derselbe zu jenen längern Luftsäulen in einem andern Verhältnisse wie zu dieser kurzen. Bei dieser letzten ist er der Grundton, d. h. der tiefste Ton, den sie überhaupt zu geben vermag, so lange sie in einer an beiden Enden offenen Röhre schwingt. Bei der Luftsäule, deren Länge 8 a beträgt, ist derselbe Ton nicht Grundton (denn dieser würde, ihrer Länge zufolge, da sie das Doppelte der erstern beträgt, um eine Octave tiefer sein), sondern er ist ihr erster Flageoletton, welchen sie hervorbringt, indem sie 2 Knotenflächen bildet. Beträgt die Länge der Luftsäule 12 a, so ist, wenn sie den Grundton der Luftsäule, welche = 4 a ist, hervorbringt, dieser Ton gleichfalls nicht ihr Grundton (welcher ihrer Länge zufolge um eine Octave und Quinte tiefer sein würde), sondern ihr zweiter Flageoletton, bei dessen Hervorbringung sie 3 Knotenflächen bildet. Da nun im Allgemeinen die Dauer der Schwingungen zweier gleich langer Luftsäulen, von

welchen die eine an beiden Enden offen, die andere an einem Ende verschlossen ist, wenn beide ihren *n*ten Ton, den Grundton mitgerechnet, geben, sich wie $2n : 2n - 1$ verhält (52), so muss, wenn die Luftsäule der Zungenpfeife aus irgend einem Grunde den Gesetzen gedeckter Luftsäulen folgt, ihr Ton um eine Octave sich vertiefen, wenn der Ton, den sie, so lange sie den Gesetzen an beiden Enden offener Luftsäulen folgte, hervorbrachte, ihr Grundton, folglich ihr Ton 1 war, weil sich die Dauer der Schwingungen des letztern zu der jenes tiefern, nach obiger Formel, wie $2 \times 1 : 2 \times 1 - 1$, also wie $2 : 1$ verhält. Ist dagegen der Ton, welchen die den Gesetzen offener Pfeifen folgende Luftsäule gibt, ihr erster Flageoletton, also ihr Ton 2, so wird, wenn dieselbe Luftsäule nach den Gesetzen gedeckter Pfeifen schwingt, ihr Ton um eine Quarte tiefer sein als jener Ton 2, weil die Dauer der Schwingungen dieses höhern Tones zu der des tiefern $= 2 \times 2 : 2 \times 2 - 1 = 4 : 3$ ist. Ist der Ton, welchen die nach den Gesetzen offener Pfeifen schwingende Luftsäule gibt, ihr zweiter Flageolетton, mithin ihr Ton 3, so muss dieser Ton, sobald sie die Gesetze gedeckter Pfeifen befolgt, um eine kleine Terz sich vertiefen, weil das Verhältniss der Dauer der Schwingungen des Tons 3 zu der des ihm zunächst liegenden tiefern einer gedeckten Pfeife $= 2 \times 3 : 2 \times 3 - 1 = 6 : 5$ ist. Vgl. über das

52) S. *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 437.

Verhältniss der Töne von Seiten der Dauer ihrer Schwingungen § 37.

Wir kehren jetzt zur weitern Aufzählung der Fälle zurück, in welchen bloss die *Luftsäule* die ihr an sich zukommende Schwingungszahl ändert und sich der Zunge accommodirt. Ausser den oben bei α. bezeichneten Längenverhältnissen der Luftsäule findet dieses auch dann Statt,

β) wenn die Länge der Luftsäule mit jenen Maassen *nicht genau übereinkommt*, sondern *um ein Weniges grösser ist*, wenn nämlich die Länge entweder zwischen 1 und $1\frac{1}{4}$, oder 2 und $2\frac{1}{4}$, oder 3 und $3\frac{1}{4}$ u. s. w. jenes Maassstabes fällt. Vgl. was bei a. β. über die Wirkungen solcher Näherungsverhältnisse gesagt ist.

γ) wenn die ganze Länge der Luftsäule weniger als $\frac{1}{4}$ jenes Maassstabes beträgt. Denn alsdann kann die Zungenpfeife so betrachtet werden, als bestände sie aus einem blossen Mundstück ohne Luftsäule, weil diese wegen ihrer Kürze eben so wenig den Ton der Zunge zu ändern vermag, als in den zu β. gehörigen Fällen die Hinzufügung von weniger als $\frac{1}{4}$ den Ton, welcher vorher Statt fand, zu ändern vermag.

Die Ursache der isochronischen Schwingungen beider Körper kann aber auch sein

2) eine *gegenseitige Accommodation* beider Körper gegen einander, indem sowohl Zunge als Luftsäule die ihnen für sich zukommende Schwingungszahl ändern, um eine dritte gemeinschaftliche Schwingungszahl anzunehmen. Dieses findet Statt,

a) wenn die Länge der Röhre zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ fällt, und

b) wenn die Länge der Röhre eine solche ist, dass, wenn man sie nach dem bezeichneten Maassstabe

abtheilt, ein Rest bleibt, der zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ des Maassstabes fällt.

Bei diesen Längenverhältnissen erlangt zwar keiner von beiden Körpern die Macht, den andern sich ganz zu accommodiren, und ist daher genöthigt, selbst sich ihm mehr oder weniger zu accommodiren; doch ist dabei, wie das Obige zeigt, ein Antagonismus unverkennbar. Denn so weit es die Zunge vermag, sucht sie selbst möglichst die Oberhand zu behalten (nämlich zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{4}$ und $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{4}$ und $2\frac{1}{2}$ u. s. w.); überschreitet aber die Länge der Röhre die Mitte jenes streitigen Gebietes, so bemächtigt sich die Luftsäule des grössern Einflusses (nämlich zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$, $1\frac{1}{2}$ und $1\frac{3}{4}$, $2\frac{1}{2}$ und $2\frac{3}{4}$ u. s. w.).

II. Classe.

Gesetze, nach denen die Zungenpfeifen tönen, wenn der Luftstrom die Zunge von der Öffnung des Mundstücks zurück treibt und es zu öffnen strebt.

Diese Erregungsart findet Statt, wenn auf die Aussenseite der Zunge eine dünnere Luft als auf ihre Innenseite wirkt, indem die Zungenpfeife an dem Ende, welches dem Mundstücke entgegengesetzt ist, angeblasen wird. Hierbei ist das allgemeine Gesetz folgendes. Man suche an einer Zungenpfeife erst den Ton der Zunge, dann untersuche man, wie viele Male die Länge der Zungenpfeife die Länge einer denselben Ton als Grundton gebenden offenen Pfeife enthält, und was übrig bleibt, wenn man sie durch diese dividirt. Hieraus ergibt sich 1) wie viele Schwingungsknoten in der Röhre vorhanden sind, 2) ob der übrig bleibende Theil grösser oder kleiner ist, als die Hälfte einer denselben Ton gebenden offenen Pfeife. Ist er grösser, so ist der Ton dem der Zunge beinahe gleich; ist er kleiner, so ist der Ton dem einer eben so langen gedeckten Pfeife gleich, bei welcher die Zahl der Schwingungsknoten dieselbe ist. Damit man den Unterschied der Tonhöhe bei

dieser Erregungsart von der Tonhöhe bei der Isten Classe desto deutlicher erkenne, füge ich noch Folgendes hinzu. Aus dem Obigen ist bekannt, dass, wenn die die äussere Fläche der Platte begrenzende Luft *dichter* ist, als die innere in der Röhre der Zungenpfeife befindliche (was durchgängig bei der Isten Classe der Fall ist), der Ton der Zungenpfeife dem Tone der isolirt schwingenden Platte zwar, bei verschiedenen Längen der Luftsäule, beliebig nahe kommen könne, aber nie *höher* sei. Das Entgegengesetzte findet bei dieser IIten Classe Statt. Denn wenn die die äussere Fläche der Platte begrenzende Luft *dünner* ist, als die innere in der Röhre der Zungenpfeife befindliche, so kann der Ton der Zungenpfeife dem Tone der isolirt schwingenden Platte zwar bei verschiedenen Längen der Luftsäule beliebig nahe kommen, aber nie *tiefer* sein. Demnach ist der Ton der Platte, welcher bei der Isten Classe die obere Grenze der möglichen Töne war, bei dieser IIten Classe die untere Grenze der möglichen Töne ([53]). Damit man diese Eigenthümlichkeit der IIten Classe mit der entgegengesetzten der Isten Classe vergleichen und sie dadurch deutlicher erkennen möge, führe ich an die von W. Weber ([54]) aufgestellte

Tabelle von Versuchen über Änderung der Dauer der Schwingungen der Metallplatte einer Zungenpfeife durch das Mitschwingen einer Luftsäule.

Die messingene Platte der hierbei gebrauchten Zungenpfeifen war $12^{\text{lin.}},6$ lang, $2^{\text{lin.}},5$ breit, $0^{\text{lin.}},22$ dick, und machte allein schwingend 776 Schwingungen in 1 Secunde. Die Weite der cylindrischen Luftsäule betrug $4^{\text{lin.}},7$.

53) *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 17. (93.) S. 198., s. Dissert. p. 9. und *Chladni's* Auszug aus *W. Weber's* Dissert. in d. Cäcilia Bd. VIII. S. 106. 54) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 205 f. und noch mit Einschiebung einiger andern Columnen, die ich hier, weil sie zu einem andern Zwecke dienen, übergehe, Bd. 17. (93.) S. 200 f. vgl. Bd. 17. (93.) S. 194 ff.

Erster Fall. Die äussere Luft war dichter als die innere.

Längen der Luftsäule.	Dauer einer Schwingung, wenn die Luftsäule mitschwingt.	Dauer einer Schwingung der Platte allein.
145 lin.,5	0 sec.,0019456	0 sec.,0012978
163	002060	
171	002184	
184 ,6	002312	
194 ,6	0024508	
200	0025956	
238	0013756	
315 ,4	0014566	
345	0015432	
368 ,2	0016354	
393 ,5	0017330	
420	0018348	
444	0019456	
472	0013756	
532 ,7	0014566	
582	0015432	
612	0016354	
650 ,4	0017330	

Zweiter Fall. Die äussere Luft war dünner als die innere.

Länge der Luftsäule.	Dauer einer Schwingung, wenn die Luftsäule mitschwingt.	Dauer einer Schwingung der Platte allein.
185 lin.	0 sec.,0007716	0 sec.,0012978
196	0008177	
209	0008665	
219 ,7	0009174	
234	0009728	
257	001030	
271	001092	

Längen der Luftsäule.	Dauer einer Schwingung, wenn die Luftsäule mitschwingt.		Dauer einer Schwingung der Platte allein.
289,6	0 sec.,001156		0 sec.,0012978
334	0012254		
360	0009174		
377	0009728		
402	001030		
442,7	001092	0 sec.,0008177	
474	001156	0008665	
502	0012254	0009174	
551,5	0012978	001030	

Die doppelten Zahlen bei den vier letzten Luftsäulen kommen daher, dass die Zungenpfeife bei jeder von diesen, nach Verschiedenheit des Anblasens, 2 verschiedene Töne gab, so dass sich dadurch für die Dauer einer Schwingung der Pfeife 2 verschiedene Werthe ergaben. Obgleich nicht ausdrücklich von Weber angegeben wird, bei welchem Grade des Anblasens der tiefere, bei welchem der höhere Ton erfolgte, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass bei schwächerem Anblasen der tiefere, bei stärkerem dagegen der höhere Ton vernommen wurde.

Man sieht hieraus

1) dass bei dem *ersten* Falle die in der zweiten Columne angegebene Dauer einer Schwingung der Zungenpfeife bei allen Längen der in der ersten Columne angegebenen Luftsäulen *grösser* war, als die Dauer einer Schwingung der Platte allein, der Ton der Zungenpfeife folglich nie *höher* als der Ton der isolirt schwingenden Platte sein konnte.

2) dass bei dem *zweiten* Falle die in der zweiten Columne angegebene Dauer einer Schwingung der Zungenpfeife bei allen Längen der in der ersten Columne

angegebenen Luftsäulen *kleiner* war, als die Dauer einer Schwingung der Platte allein, der Ton der Zungenpfeife folglich nie *tiefer* als der Ton der isolirt schwingenden Platte war.

Ausserdem findet nach W. Weber ([55]) noch folgender Unterschied zwischen diesen beiden Classen Statt:

1) Wenn die die äussere Fläche der Platte begrenzende Luft *dichter* ist, als die innere in der Röhre der Zungenpfeife befindliche (wie es bei der Isten Classe der Fall ist), so besteht die Luftsäule aus einer beliebigen Zahl *ganzer* schwingender Abtheilungen, *plus* einem Reste, der grösser als *Null* und kleiner als eine *halbe* schwingende Abtheilung ist.

2) Wenn die die äussere Fläche der Platte begrenzende Luft *dünner* ist, als die innere in der Röhre der Zungenpfeife befindliche (wie es bei der IIten Classe der Fall ist), so besteht die Luftsäule aus einer beliebigen Zahl *ganzer* schwingender Abtheilungen, *plus* einem Reste, der grösser als eine *halbe* und kleiner als eine *ganze* schwingende Abtheilung ist.

III. Classe.

Gesetze, nach denen die Zungenpfeifen tönen, wenn gar kein Luftstrom durch die Röhre der Zungenpfeife geht.

Bei dieser Erregungsart der Töne einer Zungenpfeife, wobei man die Röhre verschliesst, während man auf die Zunge des Mundstücks bläst, findet folgende allgemeine Bestimmung Statt. Man suche erst den Ton der Zunge; dann untersuche man, wie viele Male die Länge der Zungenpfeife die Länge einer denselben Ton gebenden offenen Pfeife enthält. Hieraus ergibt sich 1) die Zahl der Schwingungsknoten in der Pfeife; denn so oft die letztere Länge in der erstern enthalten ist, so viele schwingende Theile

55) *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 17. (93.) S. 199 ff.

sind vorhanden, und wenn mehr als die Hälfte eines solchen Theiles übrig bleibt, so ist die Zahl der Theile um einen zu vermehren; 2) ob der übrig bleibende Theil grösser oder kleiner ist als die Hälfte. Ist er grösser, so ist der Ton beinahe dem der Zunge gleich; ist er kleiner, so ist der Ton der Zungenpfeife derselbe, wie in einer eben so langen, an beiden Enden verschlossenen Röhre. Auch bei dieser Classe ist, wie bei der ersten, der Ton der Zunge die obere Grenze der möglichen Töne der Zungenpfeife ([56]).

Nach diesem Allen aber bleibt noch eine sehr wichtige Frage zu beantworten, nämlich die: *was die nächste Ursache des Tones der Zungenpfeife sei?* Diese ist nach W. Weber's Untersuchungen ([57]) weder die schwingende *Zunge*, noch auch die gleichfalls schwingende ([58]) *Luftsäule* ([59]). Denn wenn man die erstere, während sie mit den übrigen Theilen des Instruments verbunden bleibt, durch Streichen mit dem Violinbogen auch in die heftigsten Schwingungen versetzt, so erfolgt doch nie der starke und volle Ton der Zungenpfeife, sondern ein so schwacher Ton, dass er nur ganz nahe hörbar ist; ferner wenn man die die Luftsäule umschliessende Röhre auch ganz weglässt, und bloss den Rahmen, welcher die Zunge zunächst umgibt, übrig behält, dann diesen Rahmen rings an seinen Rändern

56) *W. Weber's* Dissert. p. 38. und *Chladni's* Auszug daraus in d. Cäcilia Bd. VIII. S. 107 f. 57) *W. Weber* in jenen Annal. Bd. 16. (92.) S. 419 ff. vgl. Bd. 17. (93.) S. 194 ff. 58) Dass nämlich auch diese bei einer tönenden Zungenpfeife, gleichwie die Zunge, in eine *stehende* Schwingung geräth, und zwar in eine mit der Zunge stets *isochronische* Schwingung, ergibt sich aus den *Abweichungen*, welche verschieden lange Luftsäulen in den Schwingungen der Platte einer Zungenpfeife verursachen. Denn schwänge die Luft in der Röhre nicht selbst, sondern übte auf die schwingende Platte bloss dadurch einigen Einfluss aus, dass sie *nicht frei* nach allen Seiten hin *ausweichen* kann, so würde dieser Widerstand gleichförmig sein. Allein jene Abweichungen zeigen, dass die Luft der Röhre auf die Platte einen sehr *variabeln* Druck ausübe; dieser aber ist nur erklärbar, wenn die Luftsäule sich in einer stehenden Schwingung befindet. S. *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 424 f. 59) *G. Weber* schwankt, welchen von diesen beiden Körpern er als selbsttönenden betrachten solle, s. A. Blasinstrumente, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Thl. X. S. 327. vgl. Cäcilia Bd. XI. S. 181 f. —

mit den Lippen umschliesst und bläst (wie bei der sogenannten Mundharmonika), so entsteht ein Ton, der seiner Höhe nach *fast* derselbe, seinem Klange (timbre) nach aber *völlig* derselbe ist, als wenn eine kürzere Luftsäule mitschwänge. Er erklärt deshalb für die nächste Ursache des Tones der Zungenpfeife vielmehr *die in schneller Folge sich succedirenden Luftstösse*, welche dadurch hervorgebracht werden, dass die Luft abwechselnd durch die Öffnung zwischen den Rändern der Zunge und des Mundstücks eintreten kann, und dann wieder durch Verschliessung dieser Öffnung unterbrochen wird ([60]). Diese Luftstösse, indem sie aus der Röhre hervortreten, wirken für sich erschütternd auf die äussere Atmosphäre, und bewirken dadurch in ihr Schallwellen, die zu unserem Ohre gelangen. Diese Zeiträume aber, die von Stoss zu Stoss verfliessen, werden durch die *Zunge* und mittelbar durch die wiederum auf die Zunge einwirkende *Luftsäule* bestimmt. Nicht also die schwingende *Platte* selbst gibt den Ton und erregt die Schallwellen, sondern die *Luft*; nicht aber die *schwingende* Luft in der *Röhre* der Zungenpfeife, sondern der periodisch gehemmte, aus der Windlade *stossweise sich hervordrängende* Luftstrom. Die *Platte* aber *regulirt* die Stösse der aus der Windlade hervordringenden Luft, bestimmt die Zeiträume, welche von Stoss zu Stoss verfliessen; und die Dauer der durch diese Stösse in der äussern Luft hervorgebrachten Schallwellen wird so der Dauer der Plattenschwingungen *gleich* gemacht. Demnach ist

---

60) Diese nimmt auch *Chladni* als die nächste Ursache des Tones der Zungenpfeifen an, s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 8. (84.) S. 456., eben so *Savart* ebend. Bd. 10. (86.) S. 288 f. Dass auch *Biot* dieser Ansicht sei, erhellet besonders daraus, dass er die Tonerzeugung der Zungenpfeife in Parallele stellt mit der Tonerzeugung der Sirene (s. § 29.), s. Bd. II. S. 106. vgl. S. 101. Hiernach muss sein Ausspruch (S. 101.), dass der Ton der Zungenwerke unmittelbar durch die Schwingungen der Zunge hervorgebracht werde, genauer gedeutet werden, da er sonst, an sich betrachtet, einer andern Deutung fähig wäre.

1) der volle und starke Ton der Zungenpfeife die unmittelbare Folge von *Luftstössen*;

2) die *Zahl der Luftstösse* in einem bestimmten Zeitraume, z. B. in 1 Secunde, die unmittelbare Folge der Schwingungen der *Zunge*;

3) die *Zahl der Schwingungen der Zunge* in einem bestimmten Zeitraume, z. B. in 1 Secunde, die unmittelbare Folge eben sowohl ihrer Dimensionen und ihrer eigenthümlichen Elasticität, als auch des abwechselnd zu- und abnehmenden, auf sie wirkenden Druckes der benachbarten, in der Röhre schwingenden *Luftsäule*.

Mit der Beantwortung dieser Frage ist indess die Reihe der hierbei in Betracht kommenden Gegenstände noch keinesweges geschlossen. Denn noch eine andere sehr wichtige Frage ist übrig: *Wie bewirkt man, dass weder eine Veränderung der Stärke des Anblasens, noch auch eine Veränderung der Temperatur die Tonhöhe einer Zungenpfeife verändere?* Das, wodurch man dieses bewirkt, heisst *Compensation*, und die Zungenpfeifen selbst, deren Tonhöhe gegen die Einflüsse jener Veränderungen geschützt ist, nennt man *compensirte Zungenpfeifen*. Mit beiden Namen bezeichnet man aber auch diejenige Einrichtung und diejenigen Pfeifen, wobei nur dem Einflusse einer jener beiden Veränderungen auf die Tonhöhe der Zungenpfeife vorgebaut ist. Theils aus diesem Grunde, theils auch, weil jene einwirkenden Ursachen selbst von einander sehr verschieden sind, betrachten wir jede dieser beiden Arten der Compensation für sich.

1. *Compensation der Zungenpfeifen, wodurch ihre Tonhöhe bei jeder Stärke des Anblasens dieselbe bleibt.*

Schon oben S. 450. und noch früher § 21. bei den Stimmgabeln ist erwähnt, dass, wie transversal schwingende Stäbe überhaupt, so insbesondere auch stabförmige Zungen

langsamer schwingen, wenn sie grössere Excursionen machen, folglich dann auch tiefer tönen, so dass die Erregung weiterer Schwingungen zwar einerseits den Ton verstärken, andererseits ihn aber auch etwas vertiefen wird. Das Entgegengesetzte findet bei longitudinal schwingenden Körpern, und im höchsten Grade bei den Luftsäulen Statt. Denn der Ton der Luftsäule wird durch stärkeres Blasen in die Höhe getrieben ([61]). Demnach besteht eine Zungenpfeife aus 2 Körpern, auf welche eine Verstärkung des Anblasens entgegengesetzte Wirkungen hat. Die Folgen hiervon werden sein

1) dass bei solchen Längenverhältnissen der Zungenpfeife, wo, dem Obigen zufolge, die *Zunge* bei der Bestimmung der Schwingungszahl das Übergewicht über die Luftsäule hat, durch stärkeres Anblasen der Ton sich etwas vertiefen wird. Belege hierzu bieten mehrere Versuche dar, die W. Weber ([62]) mit einer Zungenpfeife gemacht hat, deren Zunge eine Eisenplatte von 0,337 Linien Dicke, 14 lin.,058 Länge und 3 Linien Breite war, die für sich allein schwingend in 1 Secunde 1140,3 Schwingungen machte. Die mit ihr verbundenen cylindrischen Röhren waren $4\frac{1}{3}$ Linien im Lichten weit. Eine Luftsäule in einer an *beiden* Enden *offenen* Röhre, welche *für sich* schwingend dieselbe Zahl von Schwingungen machen, oder, mit andern Worten, denselben Ton (als Grundton) wie jene Platte geben soll, muss 132 lin.,94 lang sein; folglich ist das den vierten Theil dieser Luftsäule bezeichnende a, wornach im Folgenden die Längen der mit der Platte verbundenen Luftsäulen bestimmt sind, hier = 33 lin.,235.

---

61) S. *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 14. (90.) S. 402. — Vgl. § 30.
62) Ebend. Bd. 16. (92.) S. 432.

Zahl der Schwingungen in 1 Secunde		Länge der mit der Platte verbundenen Luftsäule.
bei schwachem Blasen.	bei starkem Blasen.	
1146,7	1127,7	a + 4‴,71
1122,2	1097,7	a + 16 ,71
1059,2	1048,3	a + 28 ,71
945,2	940,6	2a + 7 ,48
1158,1	1143,9	4a + 4 ,0

2) dass bei solchen Längenverhältnissen der Zungenpfeife, wo die *Luftsäule* bei der Bestimmung der Schwingungszahl das Übergewicht über die Zunge hat, der Ton bei stärkerem Anblasen sich erhöhen wird.

Man darf aber hiermit nicht die Fälle verwechseln, wo man bei schwächerem Anblasen den hohen Ton, welcher mit dem der Zunge übereinstimmt, bei stärkerem Anblasen den um ein gewisses Intervall tieferen Ton hört, welcher mit dem Tone der in einer gedeckten Röhre schwingenden Luftsäule von der Grösse der Zungenpfeife übereinkommt.

Zwischen den obigen beiden Fällen gibt es einen dritten zwischen beiden in der Mitte liegenden Fall, in welchem bei verstärktem Anblasen die Schwingungen der Zunge um eben so viel langsamer, als die der Luftsäule schneller werden, so dass bei der gegenseitigen Einwirkung beider Körper die entgegengesetzten Veränderungen *sich ausgleichen*, und folglich *der Ton stärker wird, ohne seine Tonhöhe zu ändern.* Dieses ist der Fall der *Compensation*, welche W. Weber ([63]) bei den Zungenpfeifen mit durchschlagenden Zungen zu erreichen beabsichtigte und wirklich erreicht hat. Durch Beobachtung und Berechnung ist es ihm nämlich gelungen, für jeden gegebenen Ton im Vor-

63) S. s. Aufs.: »Compensation der Orgelpfeifen«, aus dem das hier Gesagte geschöpft ist, in jenen Annal. Bd. 14. (90.) S. 397 ff. vgl. Bd. 16. (92.) S. 416.; und in d. Cäcilia Bd. XI. S. 181 ff.

aus die Dicke und Länge der Zungenplatte bei einem gewissen Metalle, z. B. bei Messing, und die Länge der Röhre, wie auch die übrigen Dimensionen der beiden gemeinschaftlich schwingenden Körper anzugeben, so dass, wenn eine Zungenpfeife nach diesen Vorschriften genau verfertigt wird, sie bei jeder Stärke des Anblasens immer denselben Ton gibt, folglich von dieser Seite *compensirt* ist. Er gibt folgende

5 Beispiele compensirter Orgelpfeifen.

Zur Hervorbringung folgender Töne sind	folgende Schwingungen in 1 Secunde erforderlich	Die Messingplatten würden bei folgenden Dicken ausser der Zungenpfeife	folgende Schwingungen in 1 Secunde machen.	Die Luftsäulen würden bei folgenden Längen der Röhren ausser der Zungenpfeife	folgende Schwingungen in 1 Secunde machen.
as	406,40	$0^{lin.}$,1815	424,12	$102^{lin.}$,61	720,44
a	430,56	0 ,1933	451,77	102 ,57	720,97
b	456,15	0 ,2059	481,22	101 ,95	725,18
h	483,27	0 ,2192	512,28	100 ,72	733,66
$\bar{c}$	512,00	0 ,2333	545,30	98 ,64	748,50

Werden die in dieser Tabelle sich entsprechenden Messingplatten und Luftsäulen mit einander zu Zungenpfeifen verbunden, so erhält man compensirte Orgelpfeifen, welche bei jeder Stärke des Anblasens genau folgende Töne geben:

as, a, b, h, $\bar{c}$.

Die Lösung dieser Aufgabe ist von Wichtigkeit

1) in sofern, als man durch diese Vorrichtung einen Ton erhält, der als *Normalton*, d. h. als solcher, auf welchen alle andere Töne sich reduciren lassen, benutzt werden kann, weil er mit jeder beliebigen Stärke angegeben und so der Stärke des zu vergleichenden Tones angepasst werden kann, ohne dabei die mindeste

Änderung in seiner Höhe zu erleiden, was bis jetzt noch kein Instrument, ausser der compensirten Zungenpfeife, zu leisten vermag ([64]).

2) in sofern, als eine solche Zungenpfeife wegen der Gleichzeitigkeit ihrer Schwingungen auch am sichersten zu gewissen Untersuchungen, wie: zur Messung der Geschwindigkeit des Schalles in der atmosphärischen Luft und in andern Gasen, zur Messung des Luftdrucks in den Schallwellen und der specifischen Wärme der elastischen Flüssigkeiten sich vorzugsweise eignet ([65]).

3) in sofern, als sie Hoffnung gibt, die Orgel in der Folge von einem Mangel zu befreien, woran dieselbe noch immer leidet, indem man bis jetzt ihre Töne nicht ohne Änderung der Höhe allmälig anwachsen und abnehmen lassen konnte. Zur Beseitigung dieses wichtigen Mangels sind erst durch W e b e r's compensirte Zungenpfeifen die sichern Mittel dargeboten. Zwar baute schon der oben erwähnte Franzose G r e n i é eine sogenannte *Orgue expressif* oder *Crescendo-Orgel*, wobei er Zungenpfeifen mit durchschlagenden Zungen anwandte; da aber solche Pfeifen, wie aus dem Obigen erhellet, keineswegs ohne Weiteres unbedingt unwandelbar in ihrer Tonhöhe bei Verstärkung oder Schwächung des Windes sind, sondern nur in sofern, als sie nach denjenigen Gesetzen construirt sind, welche W. W e b e r entdeckt und in mathematische Formeln gebracht hat, und G r e n i é auch noch ohne diess die mangelhafte Einrichtung der sogenannten Stimmkrükken, obgleich mit Verstärkung der Drähte, beibehielt: so erfüllt wohl jene Orgel G r e n i é's keineswegs voll-

---

64) S. *Poggendorff*'s Annal. Bd. 16. (92.) S. 193 f. vgl. S. 415 f.   65) *W. Weber* gibt, indem er compensirte Zungenpfeifen zu diesen Untersuchungen besonders empfiehlt, und ihre Zweckmässigkeit dazu darthut (s. ebend. Bd. 16. (92.) S. 202 f. u. Bd. 17. (93.) S. 235 ff.), besondere Regeln über deren passendste Construction Bd. 16. (92.) S. 196 ff.

kommen, was man bei einer solchen beabsichtigt und auch wohl von jener gerühmt hat ([66]).

2. *Compensation der Zungenpfeifen, wodurch ihre Tonhöhe bei jeder Temperatur dieselbe bleibt.*

Nachdem W. Weber jene eben genauer bezeichnete Compensation ermittelt hatte, fand er später noch diese neue, von jener ersten ganz verschiedene Compensation der Zungenpfeifen, welche die *Temperatur* betrifft, dass nämlich eine Reihe von Zungenpfeifen, welches auch ihre gemeinschaftliche Temperatur sein mag, ihre Schwingungsverhältnisse unveränderlich erhält, und nie eine *Verstimmung* der Tonverhältnisse durch die *Temperatur* bei ihnen veranlasst wird ([67]).

Da die Bedingung zur Herstellung dieser Compensation in keinem Widerspruche mit der Bedingung zur Herstellung jener erstern Compensation steht, so lassen sich beiderlei Compensationen an Einer Zungenpfeife vereinigen, und somit *doppelt compensirte* Zungenpfeifen für alle Töne construiren ([68]), welche demnach beiderlei Vollkommenheiten in sich vereinigen, und so erst wahrhaft in jeder Hinsicht unveränderlich in ihrer Tonhöhe sind.

Anmerkung. Bei dieser Gelegenheit erwähne ich zugleich, dass man auch eine *Compensation der Labialpfeifen* und eine *Compensations-Mixtur* im Pedale vorgeschlagen hat. Was darunter zu verstehen ist, sehe man in d. Cäcilia Bd. XVI. S. 65 ff. 272 ff.

Nachdem wir in dem Bisherigen die Schwingungsgesetze der *Zungenpfeifen* kennen gelernt, scheint es zweckmässig,

---

66) S. *G. Weber* in d. Cäcilia Bd. XI. S. 183. 187. — *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 14. (90.) S. 401. — Vgl. *Chladni*: N. Beytr. S. 63., und *Biot*, welcher (II. S. 104.) von *Grenié's* Zungenpfeifen rühmt, dass ihre Tonhöhe bei jeder Stärke des Anblasens unverändert bleibe. Auch *Willis* ist der Meinung, dass Zungenpfeifen mit durchschlagenden Zungen, für deren Erfinder er jedoch mit Recht *Kratzenstein* erklärt, schon an sich die Eigenschaft besässen, dass ihr Ton, innerhalb gewisser Grenzen, durch stärkeres Anblasen sich verstärken lasse, ohne seine Höhe zu ändern, s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 24. (100.) S. 403.

67) Die von ihm aufgestellten mathematischen Formeln für diese Compensation s. in jen. Annal. Bd. 17. (93.) S. 245 f.

68) Ebend. S. 211.

hier noch ihr Verhältniss zu den *offenen* und *gedeckten Labialpfeifen* nach W. Weber (69) festzustellen, und zwar um so mehr, da dieselben in der obigen Erläuterung ihrer Schwingungsgesetze mehrfach mit diesen verglichen sind. Die *offenen Labialpfeifen* sind nach § 18. solche, welche an beiden Enden von Luft, oder, wie man dafür mit W. Weber sagen kann, von 2 *ganz beweglichen* Schichten begrenzt sind; *gedeckte Labialpfeifen* solche, welche an einem Ende von einem festen Körper, oder, mit W. Weber zu reden, von einer *ganz unbeweglichen* Schicht begrenzt sind. Den Gegensatz von beiden Arten bilden diejenigen Pfeifen, welche von *mehr oder weniger beweglichen* Schichten begrenzt sind. Zu diesen letztern gehören die Zungenpfeifen. — Ist ein Ende von einer ganz beweglichen Schicht begrenzt, so macht dieselbe eben so grosse Schwingungen, als die gerade in der Mitte zwischen 2 Knotenflächen oder, mit andern Worten, als die im Schwingungsmaximum gelegene Luftschicht. — Ist ein Ende von einer ganz unbeweglichen Schicht begrenzt, so macht dieselbe gar keine Schwingungen, gerade wie die in den Knotenflächen gelegenen Lufttheilchen keine Schwingungen machen. — Durch diese Betrachtung wird man, wie W. Weber sagt, zu einem allgemeinen Gesichtspunkte geführt, unter welchem man alle *wesentlich* verschiedenen Species der Orgelpfeifen zusammenfassen und von welchem aus man nicht allein das gegenseitige Verhalten ihrer Schwingungsgesetze zu übersehen, sondern auch die Ursachen davon einzusehen im Stande ist. Er fasst nämlich alle *wesentlich* verschiedenen Species von Orgelpfeifen unter dem Gesichtspunkte ihrer Grenzschichten und deren Verhalten zu irgend einer andern Schicht in derselben Orgelpfeife zusammen, und definirt die nächst höhere Gattung, zu welcher die *offenen Pfeifen*, die *Zungenpfeifen* und die

69) In d. Cäcilia Bd. XII. S. 20 ff.

gedeckten Pfeifen gehören, folgendermassen: *als Pfeifen, deren Grenzschichten gleich grosse Schwingungen machen, als irgend eine in derselben Pfeife zwischen einem Schwingungsknoten und einem Schwingungsmaximum gelegene Schicht (die Schichten im Schwingungsknoten und im Schwingungsmaximum mitgerechnet).* — So wie nun die ganz bewegliche Grenzschicht einer offenen Pfeife eben so grosse Schwingungen als die im Schwingungsmaximum gelegene Luftschicht macht; so wie ferner die ganz unbewegliche Grenzschicht einer gedeckten Pfeife, gleich den in den Knotenflächen gelegenen Lufttheilchen, gar keine Schwingungen macht; so macht die mehr oder weniger bewegliche Grenzschicht, welche bei einer Zungenpfeife durch die in der Seitenwand eingesetzte Platte gebildet wird, solche Schwingungen, wie irgend eine zwischen einer Knotenfläche und einem Schwingungsmaximum gelegene Luftschicht derselben Pfeife. Die Zungenpfeife bildet daher einen Übergang von offenen zu gedeckten Pfeifen, und zwar so, dass sie, wie es überhaupt bei Übergängen zu sein pflegt, nicht etwa immer die Mitte zwischen beiden hält, sondern oft der einen dieser beiden Grenzarten näher steht, jenachdem die Bewegung der Grenzschicht mit der Bewegung einer dem Schwingungsmaximum näher liegenden Luftschicht, oder mit der Bewegung einer der Knotenfläche näher liegenden Luftschicht übereinstimmt. Welches von beiden und in welchem Grade es Statt finden solle, hängt von dem *Grade des Druckes* ab, welchen die Luft der Zungenpfeife und ihre Zungenplatte vermöge ihrer Schwingungen wechselseitig auf einander ausüben. *Je geringer* dieser Druck ist, desto näher liegt die mit der Platte gleich schwingende Luftschicht dem *Schwingungsmaximum* der Luftsäule, desto *höher* ist deshalb auch der Ton der Zungenpfeife, d. h. desto geringer ist die Vertiefung desselben unter den Ton der isolirt schwingenden Platte, weil dann die Gesetze der Zungenpfeife, wenn mehrere schwingende

Abtheilungen vorhanden sind, mit denen einer offenen Labialpfeife, und wenn nicht mehrere schwingende Abtheilungen vorhanden sind, mit den Gesetzen der isolirt schwingenden Platte übereinstimmen. *Je grösser* dagegen dieser Druck ist, desto näher liegt die mit der Platte gleich schwingende Luftschicht einer *Knotenfläche*, desto *tiefer* ist deshalb ihr Ton, weil sie dann einer gedeckten Pfeife näher steht. Da nun beim schwächern Anblasen die Platte weniger gegen die Luftsäule der Pfeife gedrückt wird, beim stärkern Anblasen aber dieser Druck grösser ist, so erkennt man hieraus noch deutlicher die Ursache der oben erwähnten Beobachtung, dass unter gewissen Längenverhältnissen der Pfeife bei schwachem Anblasen der hohe Ton, der mit dem der isolirt schwingenden Zunge übereinkommt, bei stärkerem aber der um ein gewisses Intervall tiefere Ton gehört wird, welcher mit dem einer für sich in einer gedeckten Röhre schwingenden Luftsäule, welche mit der Zungenpfeife gleiche Länge hat, übereinstimmt.

Anmerkung 1. Man ersieht hieraus zugleich, wie die Zungenpfeife zur Messung des Luftdrucks in den Schallwellen sich eigne. W. Weber macht in Poggendorff's Annal. Bd. 17. (93.) S. 239., wo er sie dazu empfiehlt, hierüber unter Anderem folgende Bemerkung: »Die Zungenpfeife ist ein Druckmesser oder Barometer, welches in den Schallwellen selbst gebraucht werden kann, und welches sich darin von andern Barometern wesentlich unterscheidet, dass diese die Grösse eines gleichförmig fortdauernden Drucks, die Zungenpfeife aber die Grösse eines, wie in den Schallwellen, periodisch wiederkehrenden Druckes misst. Denn die Platte der Zungenpfeife befindet sich mitten in den Schallwellen, und bildet eine Wand, an welcher sich die Schallwellen brechen, und gegen welche die Schallwellen alle ihre Kraft ausüben. Es ist die abwechselnde Zu- und Abnahme des Drucks der Luft in den Schallwellen, was die Platte in ihren Schwingungen *continuirlich* retardirt, so dass sie unter dem Einflusse der an sie anschlagenden Schallwellen langsamer schwingt, als wenn sie isolirt ist. Die Grösse des Drucks der Schallwellen auf die Platte wird durch

die Vertiefung des Tones der Zungenpfeife wirklich *gemessen*." Vgl. ebend. S. 209.

Anmerkung 2. Die jetzt gebräuchlichen Zungenwerke der Orgel sind folgende: 1) die *Trompete*, 2) die *Posaune*, 3) die *Schallmey*, 4) das *Cornet*, 5) die *Hoboe*, 6) das *Fagott*, 7) das *Dulcian*, 8) das *Krummhorn*, 9) *Vox humana*, s. Nauc A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S. 178. Einige Bemerkungen über die Vox humana von Willis findet man in Poggendorff's Annal. Bd. 24. (100.) S. 431 f. Vgl. auch Cäcilia Bd. I. S. 94 f.

Zu der Classe der Zungenwerke mit stabförmigen Zungen gehören ausser den Zungenpfeifen auch

mehrere Blasinstrumente.

Daher würden, wenn dieser Abschnitt vollständig werden sollte, auch die Gesetze, nach welchen diese tönen, hier aufzustellen sein. Die Theorie dieser Blasinstrumente, wie der Clarinette, der Hoboe, des Fagotts, würde in 2 Abtheilungen zerfallen: in die Untersuchung der Schwingungen von cylindrischen und conischen, mit Seitenöffnungen versehenen, *Luftsäulen*, und in die Untersuchung des Einflusses des *Mundstücks*. Die erstere Untersuchung führt, wie W. Weber (70) hierbei bemerkt, dahin, dass man eine Vergleichung der Luftsäulen dieser Blasinstrumente mit cylindrischen Luftsäulen *ohne* Seitenöffnung, und eine Vergleichung der Luftsäulen der Clarinette, der Hoboe und des Fagotts mit den Luftsäulen der Zungenpfeifen von der Art, wie sie oben beschrieben sind, anstellen kann. Die letztere Untersuchung aber, nämlich über den Einfluss des Mundstücks, hat sich bis jetzt nicht mit Genauigkeit machen lassen, und man hat daher noch zu keiner bestimmten Ansicht über den Mechanismus aller dieser Instrumente, über den Zweck und Nutzen aller ihrer Theile, gelangen können. Es liegt in der Bauart dieser Instrumente, dass

70) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 17. (93.) S. 243.

nämlich das Rohrblatt oder die beiden Rohrblätter des Mundstücks bloss *angebunden* oder *zusammengebunden* sind, etwas so Unbestimmtes, dass, so lange in dieser Befestigungsweise keine Änderung getroffen wird, keine genaue Untersuchung des Einflusses des Mundstücks möglich ist. Indessen hat W. Weber eine Theorie der Clarinette gegeben.

Wir beschränken uns deshalb hier auf folgende Bemerkungen.

1. *Über die Schwingungsgesetze der Clarinette.*

Von den Resultaten der Untersuchungen Weber's ([71]) über dieselben führe ich hier folgende an:

1) Eine Clarinette stimmt mit den Tongesetzen der Zungenpfeifen überein in Folgendem: Alle Töne einer Clarinette, welche eine Terz und mehr tiefer, als der Ton des isolirt schwingenden Rohrblattes sind ([72]), befolgen gerade so, wie die Zungenpfeifen unter ähnlichen Verhältnissen, die Tongesetze *gedeckter* Orgelpfeifen; und wenn sie ihren Grundton geben, so sind beide, Clarinette und Zungenpfeife, ganz den Gesetzen *gedeckter* Pfeifen gemäss, fast genau *halb so lang*, als eine *offene* Labialpfeife von gleicher Tonhöhe. Denn gibt ein *Clarinetten-Mundstück* mit einer angesetzten Röhre, deren Länge $49\frac{1}{3}$ Par. Zoll beträgt, Contra-Aïs als Grundton, so entspricht sie von Seiten ihrer Tonhöhe einer *offenen* und engen Pfeife, deren Länge $109\frac{1}{2}$ Par. Zoll beträgt, folglich ist ihre Länge $= \frac{1}{2} - \frac{1}{20}$ der letztern Pfeife. Macht ferner eine *Zungenpfeife*,

---

71) In d. Cäcilia Bd. XII. S. 3 ff. — Was im Folgenden von der Clarinette gesagt wird, gilt auch von dem *Bassetthorne*; denn dieser Name ist nur die speciellere Bezeichnung der F-Clarinette. Über die Beschaffenheit und die verschiedenen Arten der Clarinette überhaupt, lese man *G. Weber's* Aufs.: »Einiges über Clarinette und Bassetthorn«, in d. Cäcilia Bd. XI. S. 35 ff.

72) Die wenigen übrigen höhern Töne der Clarinette folgen keinem angebbaren Gesetze, weil bei ihrer Hervorbringung zu viel auf der Kunst des Bläsers beruht, s. Cäcilia Bd. XII. S. 14.

deren Röhre 128 Par. Linien lang ist, in 1 Secunde 583,2 Schwingungen, so stimmt sie in dieser Schwingungszahl, folglich auch in ihrer Tonhöhe mit einer *offenen* und engen Labialpfeife überein, die 260 Par. Linien lang ist, so dass ihre Länge $= \frac{1}{2} - \frac{1}{130}$ der letztern ist. — Aus dieser Verwandtschaft der Clarinette mit den gedeckten Labialpfeifen erklärt sich folgende Eigenthümlichkeit dieses Instruments. Auf der Flöte spricht auf eben denselben Griff, mit welchem man $\bar{d}$ bläst, auch $\bar{\bar{d}}$ an, eben so gibt der $\bar{g}$-Griff auch die Octave $\bar{\bar{g}}$ u. s. w.; eben so bei der Hoboe; und eben so gibt auch dem Fagott-Bläser sein G-Griff wieder g, der A-Griff auch a; nur dem Clarinettisten allein gibt sein g-Griff nicht auch $\bar{g}$, also nicht wieder die Octave, sondern $\bar{\bar{d}}$, die Quinte der Octave, und sein a-Griff nicht auch $\bar{a}$, sondern $\bar{\bar{e}}$ u. s. f. (73). Es ist folglich bei der Clarinette der erste Flageoletton vom Grundtone nicht wie bei den andern Blasinstrumenten um eine Octave, sondern, wie bei den gedeckten Labialpfeifen, um eine Octave und Quinte entfernt. W. Weber fasst seine Erklärung dieser Thatsache in folgenden Worten zusammen: »Die Clarinette nähert sich beim Übergange vom Grundtone zum ersten Flageolettone darum den Schwingungsgesetzen gedeckter Pfeifen, und entfernt sich in diesem Punkte so weit von den offenen Labialpfeifen, mit denen sie sonst die meiste Ähnlichkeit zu haben scheint, weil das Rohrblatt in allen Fällen, wo der Grundton der Clarinette in einen Flageoletton übergehen kann, einem Schwingungsknoten der Luftsäule sehr nahe liegt; — denn es findet in allen diesen Fällen ein sehr starker Druck

73) S. *G. Weber* in d. Cäcilia Bd. XII. S. 1. Dieses Ansprechen der genannten höhern Töne wird durch das Öffnen der sogenannten b-Klappe des linken Daumens nur erleichtert, nicht aber erst dadurch möglich, s. *G. Weber* A. Beitöne, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. VIII. S. 382.

zwischen der schwingenden Luft und dem schwingenden Rohrblatte Statt; — denn die Grundtöne der Clarinette, welche man in Flageolettöne übergehen lassen kann, sind weit tiefer als der Ton des isolirt schwingenden Rohrblatts.« — Auch in diesem Abstande des ersten harmonischen Tones vom Grundtone um eine Octave und Quinte stimmen Clarinette und Zungenpfeife mit einander in sofern überein, als sich, nach den Untersuchungen der Gebr. H. und W. Weber (74), auch an den Zungenpfeifen ein harmonischer Ton, welcher um eine Octave und Quinte höher ist als ihr Grundton, sich hervorbringen lässt. Man verwechsele aber diesen Ton nicht mit denen, die in der obigen Theorie dieser Pfeifen angegeben sind.

2) Eine Clarinette weicht von den Zungenpfeifen ab in folgenden Punkten:

a) Die Proportionen der Dicke und Länge und die Befestigung des einen Endes des Rohrblatts der Clarinette sind nicht, wie bei der Metallplatte einer Zungenpfeife, von der Art, dass es, wenn es isolirt schwänge, nur eine *bestimmte* Art von Schwingungen machen könnte, und die Dauer dieser Schwingungen sich vollkommen *genau* angeben liesse. Von dieser Beschaffenheit des Rohrblatts der Clarinette und der Unbestimmtheit und des Schwankens der ihm eigenthümlich zukommenden Schwingungen rührt es her, dass die gemeinschaftliche Schwingung des Rohrblatts und der Pfeife zu den Fällen gehört, wo die beiden Schwingungen beider Körper sich häufig auf *verschiedene* Weise ins Gleichgewicht setzen können, und daher der Ton innerhalb enger

74) Wellenlehre S. 526. Warum ich hier den Ausdruck: *harmonischer Ton* gewählt habe, wird man aus *Chladni's* Bemerkung in d. Cäcilia Bd. VIII. S. 103 f. ersehen.

Grenzen *variabel* ist und nur durch die Kunst des Bläsers seine nähere Bestimmung erhält ([75]).

b) Setzt man an ein Clarinetten-Mundstück enge Röhren von verschiedener Länge an, so lassen sich im Vergleich zum Tone des *Rohrblattes* tiefere Töne hervorbringen, bei angemessener Länge der angesetzten Röhren, als mit einer Zungenpfeife im Vergleich zum Tone ihrer *Metallplatte.* Denn bei einer Zungenpfeife mit metallener und gut befestigter Platte kann höchstens ein um eine Octave tieferer Ton als der Ton der isolirt schwingenden Platte hervorgebracht werden, während man mit dem Clarinetten-Mundstücke, mit Hülfe angesetzter Röhren, um 4 Octaven tiefere Töne als mit dem isolirt schwingenden Rohrblatte hervorbringen kann ([76]).

Anmerkung. Eine Folge des engen Zusammenwirkens der Luftsäule und der Zunge bei der Clarinette, Hoboe und dem Fagott ist, dass, Wheatstone's Beobachtungen zufolge, der Klang (timbre) des Tones keine Veränderung erleidet, er mag der Atmosphäre durch die Luftsäule, oder einem festen Leiter durch die schwingende Zunge mitgetheilt werden. Er gibt hierbei an, wie man auf die letztere Weise durch einen mit der Zunge des Blasinstruments verbundenen Leitdraht von Messing die Schwingungen derselben dem Resonanzboden eines Pianoforte, einer Harfe oder Guitarre mittheilen könne. S. Poggendorff's Annal. Bd. 26. (102.) S. 262 f. — Einige Bemerkungen über jene 3 Arten von Blasinstrumenten findet man in Pellisov: Berichtig. eines Fundamentalsatzes der Akust. S. 28 ff.

2. *Über gleichzeitige Hervorbringung zweier oder mehrerer Töne auf einem zu dieser Classe gehörenden Blasinstrumente.*

Es ist oben als Charakter der Zungenwerke bezeichnet, dass die beiden hier verbundenen Körper, die Zunge und

---

75) Der Ton des von *W. Weber* angewandten Clarinetten-Mundstücks war zwischen fis und c variabel, s. Cäcilia Bd. XII. S. 14. 76) Vgl. die Tabelle ebend. bei S. 16.

die Luftsäule, mit einander isochronische Schwingungen machten, und deshalb jedes Mal nur *einen* Ton gäben. Eine scheinbare Ausnahme hiervon, wo man gleichzeitig *zwei* Töne zu hören glaubt, ist bereits oben erwähnt und beseitigt. Eine andere, auf welche dort bloss hingedeutet wurde, bleibt hier zu erörtern. Die gewöhnlichen Trompeten gehören, nebst gewissen andern Blasinstrumenten, zur folgenden, demnächst unter 2. zu betrachtenden Classe von Zungenwerken, weil bei ihnen nicht ein starrer Körper, sondern ein membranöser als Zunge wirkt. Es gibt indess auch Instrumente, welche diesen Namen führen und mit einer metallenen Zunge versehen sind, folglich der bisher erläuterten Classe angehören. Dieses sind

1) das gewöhnliche Kindertrompetchen, dessen Zunge aus Rauschgold besteht ([77]),

2) die Trompetermaschine, welche die 2 Mechaniker: Mälzel in Wien, und darnach Kaufmann in Dresden, in der Gestalt von Automaten verfertigt haben, wobei die verschiedenen Töne, welche man durch Blasen mit dem Munde hervorbringen kann, mit Hülfe einer daran angebrachten Zunge bewirkt werden. Es hat hierbei eine Zeit lang Erstaunen erregt, dass namentlich bei dem Kaufmann'schen Trompeter-Automat nicht bloss einzelne Töne, sondern auch *zwei* Töne zugleich gehört wurden. Die Ursache hiervon ist die von G. Weber angegebene, dass nämlich in solchen Fällen *zwei* Zungen mit der Luftsäule der Trompetenröhre in Verbindung gesetzt sind, und dass man auf solche Weise nicht bloss zwei, sondern, falls man mehrere Zungen zugleich mit der Röhre verbindet, mehrere beliebige Töne zugleich kann ertönen lassen ([78]). Denn

---

77) *G. Weber* A. Blasinstrumente, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 327., und Cäcilia Bd. I. S. 94. — *Pellisov*: Berichtig. eines Fundamentalsatzes d. Akust. S. 31.

78) S. A. Blasinstrumente a. a. O. S. 327. — *Chladni*, welcher in s. N. Beytr. S. 65 f. jene Maschinen erwähnt, fügt in Bezug auf die gleichzeitige Hervorbringung zweier Töne

dass eine und dieselbe Luftsäule gleichzeitig verschiedene Schwingungsarten annehmen könne, ist schon bei der Maultrommel, und Ähnliches von andern Körpern anderweitig erwähnt. Solche Maschinen sind wegen der doppelten oder mehrfachen Zunge nicht mehr als ein einfaches, sondern je nach der Zahl der Zungen als ein doppeltes oder mehrfaches Zungenwerk zu betrachten, ähnlich einer Verbindung mehrerer Maultrommeln, welche mittelst der Einen ihnen gemeinsamen Luftsäule des Mundes ihre verschiedenen Töne zugleich ertönen lassen. Dieser Fall bildet demnach keine Ausnahme von dem oben angegebenen Charakter der Eintönigkeit der Zungenwerke mit stabförmigen Zungen; die mit scheibenförmigen Zungen aber weichen allerdings von diesem Charakter ab, s. das folgende b.

3. *Über Compensation der zu den Zungenwerken gehörenden Blasinstrumente in Betreff der Temperatur.*

So wie es bei den Zungenpfeifen sehr wichtig ist, ihre Tonhöhe gegen den Einfluss der Temperatur zu sichern, so auch bei den zu dieser Classe gehörenden Blasinstrumenten, z. B. dem Fagott, der Hoboe, der Clarinette. Die von W. Weber zunächst für die Zungenpfeifen gefundene Compensation, wodurch bewirkt wird, dass die *Temperatur* nie eine *Verstimmung* der Tonverhältnisse bei ihnen veranlasst, lässt sich auch auf jene Blasinstrumente anwenden, die ihrer gleich sehr bedürfen. Dieses kann jedoch nur dann geschehen, wenn in denselben statt

mittelst derselben Folgendes S. 66. hinzu: »Beiläufig bemerke ich, dass, wenn durch einen solchen Mechanismus, so wie auch wohl von manchem geschickten Horn- oder Trompeten-Bläser bisweilen auf derselben Trompete zwei Töne zugleich hervorgebracht werden, dieses weder, wie Manche geglaubt haben, eine Täuschung, noch etwas Wunderbares ist, weil an jedem klingenden Körper, und also auch an der in dem Blasinstrumente enthaltenen Luftstrecke, 2 Schwingungsarten, die sich einzeln hervorbringen lassen, auch zugleich Statt finden können, ohne dass eine die andere hindert, und es auf einer Trompete allemal 2 benachbarte Töne sind, wobei das Anblasen so beschaffen sein muss, dass es zwischen der zu Hervorbringung des einen und des andern Tones erforderlichen Weise die Mitte hält.« — Ich halte jene von *G. Weber* angegebene Vorrichtung hier für die wahre Ursache der Doppeltönigkeit jener Maschine.

des gewöhnlich angebundenen Rohrblatts eine Platte aus Metall, Elfenbein oder auch Rohr, von gleichförmiger oder ungleichförmiger Dicke, aber mit ihrem einen Ende nicht mit einem Faden *angebunden*, sondern in der Art wie bei den Zungenpfeifen *fest geschroben* oder *fest geklemmt*, substituirt wird ([79]).

Nach dieser Erläuterung der Zungenwerke mit *stabförmigen Zungen* betrachten wir noch

b) *Zungenwerke mit scheibenförmigen Zungen.*

Da stabförmige dünne Blättchen von Metall und Holz, welche ihrer Gestalt zufolge nach den Gesetzen der Stäbe schwingen, zu Zungen sich eignen, so darf man erwarten, dass auch scheibenförmige dünne Metallstücke, nach den Gesetzen der Scheiben schwingend, als Zungen dienen können, wenn sie in der Mitte befestigt sind und die Luft zwischen dem scharfen Rande eines peripherischen Rahmens und dem Rande der dünnen Scheibe durchströmt. Um Versuche hierüber anzustellen, liess Müller ([80]) scheibenförmige Zungen nach dem Princip der gewöhnlichen Zungenwerke verfertigen. Eine messingene Kreisscheibe von $\frac{1}{5}$ Millimeter Dicke und 35 Millimeter Durchmesser wird bei dem so von ihm construirten Zungeninstrumente in ihrer Mitte durch eine Stange so gegen den scharfen Rand eines entsprechenden Rahmens gehalten, dass die Luft durch das mit dem Rahmen verbundene Anspruchsrohr zwischen dem Rahmen und dem Rande der kreisförmigen Zunge durchgetrieben wird. Die Töne erfolgen leicht, wie bei gewöhnlichen Zungenpfeifen. Oft hört man aber mehrere Töne zugleich, z. B. den Grundton und die Quinte und noch höhere. Durch Einziehen der Luft entstehen auch Töne, wie bei den gewöhnlichen Zungen. Ein eben so gebautes Instrument mit glockenförmiger Zunge spricht nicht an.

---

79) *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 17. (93.) S. 244 ff. 80) Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 148.

Nachdem wir so die eine Classe der Zungenwerke, die nämlich, deren *Zungen aus einem steif elastischen Körper* gebildet sind, näher kennen gelernt haben, bleibt noch die zweite Classe übrig.

2.

Zungenwerke mit einer membranösen oder durch Spannung elastischen Zunge.

Hierüber hat Müller ([81]) ausführliche und genaue Untersuchungen angestellt, aus denen wir das Folgende entnehmen. Auch hier sind, wie bei der zuvor erläuterten Classe, 2 Arten zu unterscheiden.

a) *Einfache membranöse Zungen entweder mit einem blossen Rahmen oder zugleich mit einem ganz kurzen Rohre.*

Zu Membranen bediente er sich der zu dünnen Blättern ausgetriebenen Kautschukplatten. Wie sehr sich diese dazu eignen, erhellet aus dem § 23. Erwähnten ([82]), indem sie mit Leichtigkeit durch einen Luftstrom zum Tönen gebracht werden. Statt des von Marx dazu angewandten Apparates kann man sich auch eines feinen Röhrchens bedienen, wodurch man entweder in einer auf die Fläche der aufgespannten Membran senkrechten Richtung gegen den einen Rand derselben, oder von der Seite her quer über die Fläche der Membran bläst. In beiden Fällen gibt dieselbe, wenn sie ungehindert ihrer ganzen Länge nach und ohne Schwingungsknoten sich bewegt, ihren Grundton. Wird dagegen eine riemenförmige, nur nach Einer Richtung gespannte Zunge wie eine Saite gezerrt, so gibt sie nur einen schwachen und klanglosen Ton. Diese Membranen zerfallen aber, als Zungen angewandt, theils von Seiten ihrer Form, theils und besonders von Seiten ihrer Spannung, in 2 Arten.

---

81) Physiol. Bd. II. Abth. 1. S. 149 ff.

82) Wie man dieses am besten bewerkstelligt, zeigt *Marx* in *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 5. (65.) S. 149 f.

aa) *Nach Einer Richtung, also saitenartig gespannte riemenförmige Zungen.*

Die Tongesetze, welchen diese Membranen an und für sich folgen, stimmen mit denen der Saiten überein; denn

1) die Schwingungsmengen nehmen im umgekehrten Verhältnisse der Länge zu;

2) durch stärkere Spannung wird der Ton erhöht, und wahrscheinlich stehen ihre Schwingungsmengen, wie bei den Saiten, in geradem Verhältnisse mit den Quadratwurzeln der spannenden Kräfte;

3) bei weiteren Excursionen, welche durch stärkeres Anblasen bewirkt werden, erhöht sich ihr Ton. Dass dieses auch bei den Saiten der Fall ist, wurde § 21. S. 222 f. erwähnt (83); in Hinsicht des Grades aber unterscheiden sich beide sehr. Denn bei den Saiten kann diese Erhöhung unmerklich sein, bei jenen Membranen aber kann sie einen halben Ton und mehr betragen, und nimmt man statt trockner Membranen nasse, z. B. von Arterienhaut, so lässt sich durch allmälige Verstärkung des Blasens der Ton in halben Tönen sogar bis gegen die Quinte erhöhen, ohne ein Ansatzrohr dabei zu gebrauchen (84) (vgl. unten).

Anmerkung. Die Ursache dieser Erhöhung des Tones bei grösserer Excursionsweite scheint mir bei den Membranen keine andere zu sein, als bei den Saiten, nämlich die dadurch bewirkte grössere Spannung (vgl. W. Weber in Poggendorff's Annal. Bd. 28. (104.) S. 5.). Müller (Physiologie Bd. II. Abth. I. S. 178.) meint: »Wahrscheinlich kommt die Erhöhung (des Tones der membranösen Zunge) dadurch zu Stande, dass die Luft bei stärkerem Blasen, da sie fortdauernd wirkt, der Zunge eine mehr beschleunigte Bewegung mittheilt, bis diese aus dem Strome gelangt, dagegen bei der Rückschwingung die Saite früher als bei schwachem Antrieb wieder forttreibt, so

83) S. *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 28. (104.) S. 5. 84) *Müller* a. a. O. S. 151. 166.

dass die Zunge keine vollen rückkehrenden Excursionen macht, sondern vor Vollendung derselben wieder abgetrieben wird.«

Um mittelst solcher Membranen Mundstücke zu bilden, in welchen jene als Zungen wirken, kann man auf folgende Weise verfahren:

1) Man spannt *eine* Membran von der oben angegebenen Form über einen ringförmigen oder einen viereckigen Rahmen von Holz oder über ein ganz kurzes Rohr quer hin
   a) entweder so, dass sie diesen runden oder viereckigen Raum zur Hälfte oder zu irgend einem Theile zudeckt, während man den andern von der Membran unbedeckten Theil mit einer festen Platte mit scharfem Rande, z. B. von Pappe oder Holz, bedeckt, und zwar so, dass zwischen beiden *eine* Spalte übrig bleibt. So eingerichtete Zungen werden im Folgenden *einlippige* genannt werden.
   b) oder so, dass sie die Mitte jenes Raumes zudeckt, während zu beiden Seiten der Membran eine steife Platte von Pappe oder Holz befestigt wird, so dass diese beiden Platten nahe an die streifenförmige Membran grenzen und nur eine schmale Spalte auf jeder Seite übrig bleibt, folglich *zwei* Spalten vorhanden sind. Die Zunge kann hierbei etwa 1 — 2 Linien breit sein.
2) Man spannt *zwei* solche Membranen über einen ringförmigen oder viereckigen Rahmen von Holz oder über das Ende eines ganz kurzen Rohres so aus, dass jede einen Theil dieses runden oder viereckigen Raumes bedeckt und zwischen ihnen *eine* Spalte übrig bleibt. Diese Zungen kann man *zweilippige* nennen.

In allen diesen Fällen kann man die Membran auf viererlei Weise zum Tönen bringen:

1) sie wird durch den freien Strom der Luft aus einem feinen Röhrchen angeblasen auf die oben bezeichnete Weise.

2) Ist die Membran auf einen blossen Rahmen gespannt, so kann dieser mit den Lippen umfasst werden und der Anspruch durch den Mund geschehen.

3) Ist die Membran auf ein ganz kurzes Rohr gespannt, so kann das Ende, über welches sie gespannt ist, von den Lippen umfasst und die Membran durch den Mund angesprochen werden. In diesem Falle erscheint das Rohr als der Anfang eines *Ansatzrohres*.

4) Man kann, wenn die Membran auf ein ganz kurzes Rohr gespannt ist, in das ihr entgegengesetzte offene Ende des Rohres entweder mit dem Munde oder mittelst einer Windlade blasen. In diesem Falle ist das Rohr als der Anfang eines *Windrohres* zu betrachten.

In jedem dieser 4 Fälle erhält man beim Blasen einen verschiedenen Grundton, der wiederum durch verschiedene Umstände mannichfach verändert wird. Bei der speciellern Aufzählung dieser letztern beschränken wir uns auf den zuletzt bei 4. erwähnten Fall, wo die Membran über das eine Ende eines ganz kurzen Rohres gespannt ist und durch das offene Ende desselben angeblasen wird. Hier sind zunächst die verschiedenen Arten, wie das Mundstück eingerichtet ist, zu unterscheiden.

a) Ist dasselbe so, wie bei 1. a. oben angegeben ist, eingerichtet, so kommt in Betracht:

aa) die *Richtung des erregten Luftstroms*. Bläst man in die mit ihrem offenen Ende in den Mund genommene Röhre hinein, erregt also einen Luftstrom, der von innen nach aussen wirkt, oder, mit andern Worten, bewirkt man, dass die innere Luft der Röhre dichter als die äussere ist, so ist der Ton um einen halben bis ganzen Ton höher, als derjenige, welchen die Membran gibt, wenn man durch ein dünnes Röhrchen auf die oben bezeichnete Weise gegen sie bläst. Der bei jenem Blasen entstandene

Ton lässt sich durch stärkeres Anblasen um 2 halbe Töne höher treiben; aber nicht weiter. — Zieht man dagegen die Luft der Röhre ein, und bewirkt so, dass die innere Luft der Röhre dünner als die äussere ist, und so ein Luftstrom von aussen nach innen entsteht, so ist der Ton höher, und nur dann tiefer, wenn die feste Platte etwas nach einwärts steht und ihr Rand hinter dem der Membran liegt.

bb) die *Stellung der festen Platte gegen die Zunge.* Liegt der Rand der erstern dem Rande der membranösen Zunge gerade gegenüber, so kann der Ton um das Intervall von c — f oder weniger höher sein, als wenn die feste Platte etwas weiter vor als die elastische Platte gerückt ist.

cc) die *Breite der Spalte.* Diese hat zwar keinen grossen Einfluss auf die Höhe des Tones; aber das Anblasen spricht nicht mehr an, sobald die Spalte zu breit ist.

Membranöse Zungen dieser Art werden im Folgenden *einlippige* genannt.

b) Verfährt man wie bei 1. b., so kommen gleichfalls dieselben Punkte in Betracht:

aa) die *Richtung des erregten Luftstromes.* Bläst man in das Rohr hinein, so entsteht ein Ton, der meist um einen halben bis ganzen Ton höher ist als der, welcher entsteht, wenn mit gleicher Stärke die Luft der Röhre eingezogen wird. Verstärkung des Anblasens kann den Ton etwas erhöhen, z. B. um einen halben Ton, und eben so kann auch stärkeres Einziehen den beim Einziehen der Luft entstehenden Ton um etwas erhöhen.

bb) die *Stellung der beiden festen Platten gegen die Zunge.* Stehen diese so, dass die Zunge an irgend einer Stelle an sie anstösst, so entsteht hier ein

Schwingungsknoten an der Membran, und man hört einen viel höhern Ton als den Grundton.

cc) die *Breite der beiden Spalten.* Diese hat auf die Höhe des Tones keinen sehr merklichen Einfluss; aber das Anblasen spricht leichter an, wenn die Spalte enger ist.

c) Verfährt man wie bei 2., so sind 2 Fälle zu unterscheiden:

aa) Beide Membranen sind *gleich stark* gespannt. Um dieses zu erreichen, bringt man jede allein durch Anblasen ihres Randes mit einem feinen Röhrchen zum Tönen (vgl. oben), während man die andere, damit sie nicht zugleich töne, etwas niederdrückt oder mit einer dünnen Platte bedeckt, und verändert, wenn man so erkannt hat, dass beide in ihrer Tonhöhe von einander abweichen, die Spannung der einen so lange, bis beide in vollkommenem Einklange sind. Wird hierauf in das Rohr, über welches beide gespannt sind, geblasen, so geben beide gemeinschaftlich einen Ton, der tiefer ist als der Grundton, den jede einzelne Membran beim Anblasen mit einem Röhrchen gab. Waren beide für das Anblasen jeder einzelnen mit dem Röhrchen auf a gestimmmt, so war der gemeinschaftliche Ton beim Anblasen des Rohres, auf dem sie ausgespannt waren, gis. War der Ton jeder Membran beim Blasen mit dem Röhrchen $\overline{c}$, so gaben sie gemeinschaftlich h. War jede auf h gestimmt, so gaben sie gemeinschaftlich aïs.

bb) Beide Membranen sind *ungleich stark* gespannt und geben daher für sich allein verschiedene Töne. Hier treten folgende Fälle ein:

α) es werden *beide verschiedene Töne* beim Anblasen des Rohres hervorgebracht

αα) entweder *zugleich.* Dieses gelingt nur selten.

ββ) oder *hinter einander*, wenn sich der Anspruch verändert.

β) Gewöhnlich wird nur *Ein Ton* hervorgebracht. Dieser ist

αα) entweder ein solcher, der mit dem Tone der *einen Membran* übereinstimmt. (Häufig schwingt die wegen zu tiefer Stimmung schwer ansprechende Membran nur schwach mit und wird etwas vorgetrieben.) Es waren z. B. beide Membranen so gestimmt, dass die eine d, die andere $\overline{d}$ für sich allein gab; beim Anblasen des Rohres, worauf sie gespannt waren, wurde nur $\overline{d}$ gehört, welcher Ton durch stärkeres Blasen bis $\overline{dis}$, $\overline{e}$, $\overline{f}$ hinaufgetrieben werden konnte. Bei einem andern Versuche gab die eine Membran für sich a, die andere $\overline{dis}$; beim ganz leisen Anblasen der Röhre hörte man a. Man sieht hieraus, dass auch die Stärke des Anblasens mit entscheidet, ob der Ton der höher oder der tiefer gestimmten Membran erscheinen soll. Der erstern ist ein stärkeres, der letztern ein schwächeres Blasen angemessener.

ββ) oder ein solcher, der mit *keinem* Tone der beiden Membranen übereinstimmt, sondern *zwischen beiden in der Mitte liegt*, indem beide sich gegenseitig accommodirt und gemeinschaftlich eine dritte Schwingungsart, die von der jeder einzelnen verschieden ist, angenommen haben. War z. B. der Ton der einen Membran für sich allein c, der der andern h, so wurde beim Anblasen des Rohres g hervorgebracht ([85]).

---

85) Auch *Cagniard la Tour* erhielt bei einem ähnlichen Versuche dieses Resultat, dass sich die Schwingungen der beiden verschieden gestimmten Platten einander accommodi-

Beide Membranen können, der Reinheit der Töne unbeschadet, mit ihren Rändern auch über einander gelegt werden.

Sehr kann man die Töne dadurch modificiren, dass man das schwingende Blatt an verschiedenen Stellen mit dem Finger dämpft. Berührt man den äussern Umfang eines der über einen Cylinder gespannten Blätter mit dem Finger, so nimmt die Höhe etwas zu. Je näher dieser Druck des Fingers gegen die Spalte hin geschieht, desto mehr erhöhen sich beim Anblasen die Töne.

Bisher erläuterten wir die *nach Einer Richtung gespannten riemenförmigen Membranen.* Es bleiben noch zu betrachten

bb) die *nach mehreren oder allen Richtungen, also paukenfellartig gespannten Zungen.*

Man wendet, um dergleichen zu erhalten,

1) entweder *zwei Membranen* an, die man über einen ringförmigen oder viereckigen Rahmen oder über das eine Ende eines ganz kurzen Rohres nach mehreren Richtungen so spannt, dass eine Spalte zwischen ihnen bleibt;

2) oder man wendet *eine Membran* an, welche in der Mitte eine runde Öffnung zum Durchgang der Luft hat, und spannt sie allseitig über einen Rahmen der angegebenen Art oder über das Ende eines ganz kurzen Rohres. Zungen der letztern Art sprechen aber in der Regel nicht an und geben nur selten einen schwachen Ton.

Anmerkung. Ich habe mich in allen bisherigen Angaben genau an die von Müller gehalten, kann aber die Ansicht nicht unterdrücken, dass man nach Analogie der von W. Weber auf-

---

ren. Waren sie z. B., wie hier, um das Intervall einer Quinte verschieden gestimmt, so war der Ton die dazwischen liegende Terz. *Magendie*: Physiologie, übers. v. *Heusinger*. Eisenach, 1834. Thl. I. S. 246. S. *Müller* a. a. O. S. 154.

gestellten Theorie der Zungenpfeifen mit metallenen Zungen andere Resultate erwarten möchte. Namentlich drängt sich diejenige Gattung von Zungenpfeifen, deren Theorie derselbe in Poggendorff's Annal. Bd. 17. (93.) S. 202 ff. aufstellt, und die er *ideale* nennt, weil sie in dieser Art bis jetzt noch nicht realisirt sind, sondern bloss in der Idee existiren, zur Vergleichung auf. Denn bei denselben bildet die Zungenplatte nicht, wie bei den *wirklichen* Zungenpfeifen, einen Theil der Wand, so dass sie der Länge der Luftsäule parallel wäre, sondern sie bildet einen *Deckel* oder Querschnitt der Röhre; demnach ist nun auch die Bewegung der schwingenden Platte nicht, wie bei den *wirklichen*, senkrecht auf die Länge der Luftsäule, sondern alle ihre Theile schwingen *parallel* mit allen Theilchen der Luftsäule. Nach Analogie der Gesetze dieser Zungenpfeifen (jedoch nicht bloss dieser *idealen*, sondern auch der *wirklichen*, s. oben) müsste 1) wenn man in das Windrohr hineinbläst, der Ton stets höher als der Ton der Membran für sich; wenn man dagegen die Luft einzieht, der Ton stets tiefer sein als der Ton der Membran für sich allein, wie man ihn beim Anblasen mit einem feinen Röhrchen erhält; denn im erstern Falle ist die Luft an der Aussenseite der Membran dünner als im Innern des Windrohres, im zweiten Falle aber ist das Umgekehrte der Fall (vgl. das von Weber a. a. O. S. 208 f. 211 f. aufgestellte Gesetz). Zugleich dürfte man wohl 2) erwarten, dass, je stärker die Luft des Rohres eingezogen, je mehr sie also verdünnt wird, auch der Ton um so tiefer würde. Vergleichen wir nun hiermit die obigen Angaben. Nach a. aa. S. 501 f. ist zwar der Ton beim Hineinblasen höher als der der Membran allein; beim Einziehen der Luft aber wird er, mit Ausnahme eines Falles, als höher bezeichnet. Das bei b. aa. Gesagte stimmt zwar mit jenem Satz 1. der Theorie überein, allein die Angabe, dass verstärktes Einziehen der Luft den Ton erhöhe, ist wiederum gegen Satz 2. jener Theorie.

b) *Membranöse Zungen mit einem längern Rohre.*

Man könnte vermuthen, dass sich auch hier die 3 Classen, welche wir oben bei den Zungenpfeifen aufstellten, wiederholen würden, dass nämlich, wenn man gegen die Aussenseite der Membran bläst, die Iste Classe; wenn man gegen die Innenseite bläst, die IIte Classe, und endlich wenn man ohne einen Luftstrom Töne hervorbringt, die

IIIte Classe sich ergeben würde. Allein so leicht sich auch hier an sich eine gleiche Zahl von Classen aufstellen lässt, so kehrt doch der Charakter jener 3 Classen, wenigstens der Gegensatz der Isten und IIten Classe, hier nicht wieder; denn sowohl das Anblasen der Aussenseite als das der Innenseite der Membran vertieft den Ton unter den der Membran eigenthümlichen, obwohl in verschiedenen Graden. Wir theilen deshalb die hier zu betrachtenden Fälle nur in 2 Classen:

I. Classe. Es geht ein Luftstrom durch das Rohr.

II. Classe. Es geht kein Luftstrom durch das Rohr.

I. Classe.

Töne einer membranösen Zunge mit längerem Rohre, durch welches ein Luftstrom geht.

Schon oben deuteten wir 2 Arten von Röhren an: ein *Ansatzrohr* und ein *Windrohr*. Der erstere Name bezeichnet dasjenige, welches, von dem Standpunkte des Blasenden aus gerechnet, jenseits der Zunge sich befindet; der letztere dagegen das, welches diesseits der Zunge sich befindet. Natürlich können einem und demselben Rohre beiderlei Namen zukommen. Denn hat man über das eine Ende eines Rohres eine Membran gespannt, oder den Rahmen oder das kurze Rohr, worauf sie gespannt ist, an einem Rohre befestigt, so heisst es *Ansatzrohr*, wenn man an dem Ende, an welchem die Membran befestigt ist, bläst; dagegen wird es zum *Windrohre*, wenn man an dem der Membran entgegengesetzten offenen Ende bläst. — Zu diesen Fällen kommt noch ein dritter Fall, wo beiderlei Röhren zugleich Statt finden. Hieraus ergeben sich folgende Abtheilungen:

1) *Membranöse Zungen, die mit Einem längern Rohre verbunden sind*, und zwar

a) mit einem *Ansatzrohre.*

Ich theile hier zunächst Müller's Versuche mit.

I. Grundton einer einlippigen Zunge (durch den Mund, ohne Windrohr angeblasen) $\overline{\text{h}}$.

Längen des Ansatzrohres.	Töne.	Längen des Ansatzrohres.	Töne.
0	$\overline{\text{h}}$	22″ 4‴	$\overline{\text{aïs}}$ +
1″ 2‴	$\overline{\text{aïs}}$	23″	$\overline{\text{g}}$
2″	$\overline{\text{a}}$	25″ 6‴	$\overline{\text{fis}}$
3″	$\overline{\text{gis}}$	27″ 6‴	$\overline{\text{f}}$
7″ 6‴	$\overline{\text{g}}$	32″	$\overline{\text{e}}$
9″	$\overline{\text{fis}}$	39″ 6‴	$\overline{\text{dis}}$
10″	$\overline{\text{f}}$	40″	$\overline{\text{g}}$
13″	$\overline{\text{e}}$	42″ 3‴	$\overline{\text{fis}}$
17″	$\overline{\text{dis}}$	45″	$\overline{\text{f}}$

II. Grundton einer einlippigen Zunge (durch ein Windrohr von 3″ angeblasen) $\overline{\overline{\text{cis}}}$.

Längen des Ansatzrohres.	Töne.	Längen des Ansatzrohres.	Töne.
0	$\overline{\overline{\text{cis}}}$	22″ 6‴	$\overline{\text{a}}$ und $\overline{\overline{\text{cis}}}$
6″	$\overline{\overline{\text{c}}}$	23″ — 29″	$\overline{\overline{\text{cis}}}$
6″ 9‴	$\overline{\text{h}}$	30″	$\overline{\overline{\text{c}}}$
7″ 6‴	$\overline{\text{aïs}}$	31″	$\overline{\text{h}}$ und $\overline{\overline{\text{cis}}}$
9″	$\overline{\text{a}}$	36″	$\overline{\overline{\text{cis}}}$
9″ 6‴	$\overline{\text{a}}$ und $\overline{\overline{\text{cis}}}$	40″	$\overline{\overline{\text{c}}}$
10″ — 17″	$\overline{\overline{\text{cis}}}$	45″	$\overline{\text{h}}$ und $\overline{\overline{\text{cis}}}$
18″	$\overline{\overline{\text{c}}}$	48″	$\overline{\overline{\text{cis}}}$
20″	$\overline{\overline{\text{cis}}}$		

III. Grundton einer einlippigen Zunge (durch den Anspruch des Mundes ohne Windrohr) $\bar{\bar{\text{dis}}}$.

Längen des Ansatzrohres.	Töne.	Längen des Ansatzrohres.	Töne.
0	$\bar{\bar{\text{dis}}}$	13″	$\bar{\bar{\text{c}}}$
3″	$\bar{\bar{\text{d}}}$	17″ 6‴	$\bar{\text{h}}$
4″ 6‴	$\bar{\bar{\text{cis}}}$	20″ 6‴	$\bar{\text{ais}}$
5″	$\bar{\bar{\text{c}}}$	22″	$\bar{\text{a}}$
6″ 6‴	$\bar{\text{h}}$	23″ 6‴	$\bar{\text{gis}}$
7″	$\bar{\text{ais}}$	26″ 6‴	$\bar{\text{gis}}$ und $\bar{\text{h}}$
8″	$\bar{\text{a}}$	31″	$\bar{\text{ais}}$
9″ 6‴	$\bar{\text{gis}}$	35″	$\bar{\text{a}}$
10″	$\bar{\text{gis}}$ und $\bar{\bar{\text{cis}}}$	39″	$\bar{\text{gis}}$
11″	$\bar{\bar{\text{cis}}}$	41″	$\bar{\text{gis}}$ und $\bar{\text{h}}$
		45″	$\bar{\text{ais}}$

IV. Grundton einer einlippigen Zunge (durch den Mund ohne Windrohr angesprochen) $\bar{\bar{\text{e}}}$.

Längen des Ansatzrohres.	Töne.	Längen des Ansatzrohres.	Töne.
3″	$\bar{\bar{\text{dis}}}$	20″	$\bar{\text{h}}$
3″ 9‴	$\bar{\bar{\text{d}}}$	24″	$\bar{\text{a}}$
4″ 9‴	$\bar{\bar{\text{cis}}}$	28″	$\bar{\bar{\text{dis}}}$
5″ 6‴	$\bar{\bar{\text{c}}}$	29″ 6‴	$\bar{\bar{\text{d}}}$
6″ 2‴	$\bar{\text{h}}$	30″	$\bar{\bar{\text{c}}}$
7″ 4‴	$\bar{\text{ais}}$	30″ 6‴	$\bar{\text{h}}$
10″	$\bar{\text{a}}$	34″	$\bar{\text{ais}}$
13″ 6‴	$\bar{\bar{\text{e}}}$	35″	$\bar{\text{a}}$
15″	$\bar{\bar{\text{d}}}$	41″ 6‴	$\bar{\bar{\text{dis}}}$ und $\bar{\bar{\text{e}}}$
15″ 8‴	$\bar{\bar{\text{cis}}}$	42″	$\bar{\bar{\text{c}}}$
17″ 6‴	$\bar{\bar{\text{c}}}$	43″	$\bar{\text{h}}$

V. Einlippige Zunge ohne Windrohr.

Längen des Ansatzrohres.	Töne.	Längen des Ansatzrohres.	Töne.
3" 6'''	$\overline{\overline{\text{f}}}$	20" 3'''	$\overline{\text{h}}$
4"	$\overline{\overline{\text{e}}}$	21"	$\overline{\text{aïs}}$
4" 6'''	$\overline{\overline{\text{dis}}}$	22" 6'''	$\overline{\text{a}}$
5"	$\overline{\overline{\text{d}}}$	24"	$\overline{\text{gis}}$
6"	$\overline{\overline{\text{cis}}}$	25"	$\overline{\text{g}}$
6" 8'''	$\overline{\overline{\text{c}}}$	29" 9'''	$\overline{\text{fis}}$
7" 6'''	$\overline{\text{h}}$	33"	$\overline{\text{f}}$
8"	$\overline{\text{aïs}}$	34" 3'''	$\overline{\text{e}}$
8" 6'''	$\overline{\text{a}}$	35" 6'''	$\overline{\text{dis}}$
9"	$\overline{\text{gis}}$	38" 6'''	$\overline{\text{dis}}$ und $\overline{\overline{\text{c}}}$
9" 6'''	$\overline{\text{g}}$	40"	$\overline{\overline{\text{dis}}}$
10"	$\overline{\text{fis}}$	42"	$\overline{\overline{\text{d}}}$
11" 3'''	$\overline{\text{f}}$	42" 9'''	$\overline{\overline{\text{cis}}}$
12"	$\overline{\text{e}}$	43" 4'''	$\overline{\overline{\text{c}}}$
12" 6'''	$\overline{\text{dis}}$	44" 4'''	$\overline{\text{h}}$
14"	$\overline{\text{d}}$	44" 6'''	$\overline{\text{aïs}}$
17" 6'''	$\overline{\text{dis}}$	45"	$\overline{\text{a}}$
19"	$\overline{\text{dis}}$ und $\overline{\overline{\text{c}}}$	46"	$\overline{\text{gis}}$

Bei allen diesen Versuchen lag dem Rande der Zunge eine feste Holzplatte gegenüber.

Die bei diesen Versuchen gebrauchten Ansatzröhren hatten 1 Zoll im Durchmesser. Die Luftsäule einer offenen Röhre dieser Art von 11 Zoll 4 Lin. Par. gibt $\overline{\overline{\text{c}}}$ als ihren Grundton. Hieraus ergeben sich folgende Längen für Röhren dieser Art, von denen je eine den Grundton einer jener einlippigen Zungen gleichfalls als ihren Grundton geben soll:

eine Röhre dieser Art, deren Grundton $\overline{\text{h}}$, ist 12″ $3\frac{1}{4}$‴ lang,
» » » » » » $\overline{\overline{\text{cis}}}$, » 10″ $10\frac{1}{3}$‴ » ,
» » » » » » $\overline{\overline{\text{dis}}}$, » 9″ 11 ‴ » ,
» » » » » » $\overline{\overline{\text{e}}}$, » 9″ $5\frac{1}{8}$‴ » ,
» » » » » » $\overline{\overline{\text{f}}}$, » 8″ $11\frac{2}{3}$‴ » .

Nimmt man von jeder dieser Längen ein Viertel, so erhält man die Länge von a in der aus dem Obigen bekannten Bedeutung, um zu versuchen, ob die obige Theorie der Zungenpfeifen auch hier sich bestätige. Denn auch hier wird durch successive Verlängerung des Ansatzrohres der Ton, welchen die Zunge für sich allein gibt, um ein gewisses Intervall vertieft, bis er bei einer gewissen Länge wieder zu einem hohen Tone hinauf springt, dann bei noch weiterer Verlängerung des Rohres abermals sich vertieft, an einer gewissen Grenze der Verlängerung wieder in einen hohen Ton überspringt und so fort. Ungeachtet dieser Übereinstimmung im Allgemeinen aber finden mehrfache Abweichungen von obiger Theorie Statt. Denn

1) der Ton vertiefte sich bei jenen Versuchen, mit Ausnahme von V., nicht bis zu einer Octave, sondern bei I. betrug seine grösste Vertiefung eine kleine Sexte, bei den andern höchstens eine Quarte; bei V. dagegen eine kleine Decime.

2) Die Grenze, bei welcher der vertiefte Ton wieder in den hohen hinaufspringt, ist hier nicht so fest. Der obigen Theorie nach sollte dieser Sprung Statt finden, wenn die Länge der Röhre die zuvor angegebene Länge, wobei die Luftsäule der offenen Röhre denselben Ton als Grundton geben kann, welchen die Zunge für sich allein als ihren Grundton hervorbringt, erreicht hat, oder ein Multiplum dieser Länge beträgt. Allein bei I. sehen wir den ersten Sprung nicht bei 12″ 3‴ oder 13″, sondern erst bei 22″ 4‴ eintreten; bei IV. tritt er nicht bei 9″ 5‴ oder 10″, son-

dern erst bei 13″ 6‴ ein; bei V. findet er nicht bei 9″, sondern erst bei 19″ Statt. Nur bei II. und III. stimmt der erste Sprung mit jener Theorie ziemlich zusammen, denn bei II. erfolgt er bei 9″ 6‴ (der strengen Theorie nach würde man ihn erst bei 10″ 10‴ erwarten); bei III. trifft er am vollkommensten mit ihr zusammen, da er bei 10″ eintritt, während 9″ 11‴ die Länge der offenen Röhre ist, welche denselben Ton wie die Zunge für sich gibt. Über die weitern Sprünge des Tones jeder Reihe wird Jeder selbst leicht die Vergleichungen fortsetzen können.

3) Der Ton, auf den der gesunkene Ton zurückspringt, ist nicht immer der Grundton der Zunge, sondern oft nur ein ihr nahe liegender, aber tieferer. Bei I. beträgt der Abstand beider beim ersten Sprunge nur etwa einen Viertelton, beim zweiten dagegen eine Terz; bei III. ist der Ton, auf den der tiefere das erste Mal hinaufgesprungen ist, um einen ganzen, das zweite und dritte Mal um eine Terz tiefer als der Grundton der Membran. Bei V. beträgt sogar der Abstand beider Töne eine Quarte.

Noch müssen hier folgende den *Ton verändernde Ursachen* erwähnt werden:

1) *Verstärkung des Anblasens* allein oder zugleich mit *Verengerung der Lippenöffnung* verbunden. Es kann hierdurch der Ton fast bis zur Octave nach und nach in halben Tönen steigen. War z. B. der Ton, welchen eine Zunge mit einem Ansatzrohre von 4 Fuss gab, c, so stieg derselbe durch stärkeres Anblasen mit oder ohne Zusammenziehung der Lippen mit Leichtigkeit auf cis, d, dis, e, sehr schwer war f, dann wieder leicht fis, g, gis, a, aïs, sehr schwer aber h und unrein. — Es ist oben bei der Clarinette erwähnt, dass der erste Flageolet- oder harmonische Ton, welcher

bei stärkerem Anblasen erfolgt, um eine Octave und Quinte höher ist als der Grundton, z. B. bei dem g-Griff $\bar{\bar{d}}$; und dass auch bei Zungenpfeifen der erste harmonische Ton vom Grundtone um dasselbe Intervall entfernt ist. Bemerkenswerth scheint mir in Bezug hierauf, dass Müller bei einem seiner Versuche an einem Mundstücke, welches für sich allein $\bar{e}$ gab, nachdem er ein gewisses Ansatzrohr, welches bei den meisten andern Versuchen den Ton nicht veränderte, mithin auch hier als ohne Einfluss betrachtet werden kann, daran befestigt hatte, durch stärkeren Anspruch ein schwankendes $\bar{\bar{h}}$ erhielt, also einen um eine Octave und Quinte höhern Ton als $\bar{e}$ ([86]). Dieser höhere Ton kann nicht als eine blosse Steigerung des Grundtones betrachtet werden, da stärkeres Anblasen nicht bis zu dieser Höhe einen Ton auf die gewöhnliche Weise hinaufzutreiben vermag, sondern kann nur als ein harmonischer Ton angesehen werden, der hier statt des Grundtones bei dem stärkeren Anspruch erfolgte.

2) *Verengerung des Ansatzrohres.* Hier sind 2 Fälle zu unterscheiden:

a) Die *Endöffnung* desselben wird theilweise bedeckt entweder durch Einbringen des Fingers oder durch ein anderes Mittel. Die Wirkung hiervon ist zwar ihrem Wesen nach in sofern immer dieselbe, als dieses theilweise Decken das Nämliche wie eine verhältnissmässige Verlängerung des Rohres bewirkt; da aber diese Verlängerung hier sowohl wie bei den Zungenpfeifen nur bis zu einer gewissen Grenze eine Vertiefung des Tones bewirkt, worauf er bei fortgesetzter Verlängerung auf den hohen Ton zurückspringt, so folgt hieraus, dass in sofern eine

86) *Müller* a. a. O. S. 159.

theilweise Bedeckung des Endes, als Stellvertreterin der Verlängerung der Röhre, gleichfalls eine entgegengesetzte Veränderung des Tones zur Folge haben kann:

aa) eine *Vertiefung* desselben. So fiel z. B. beim Ansatz einer Röhre von 6 Zoll der Ton des Mundstücks bei der halben Bedeckung um einen halben Ton, durch Einbringen des Fingers um eine Quinte; eben so wurde bei einem Ansatzrohre von 3 Zoll der Ton durch vermehrte Bedeckung der Öffnung um eine Quinte herabgedrückt. Diese vertiefende Wirkung hatte die Bedeckung der Endöffnung immer bei Längen der Ansätze zwischen 5 und 15 Zoll.

bb) eine *Erhöhung* desselben. Diese tritt ein, wenn die Verlängerung einen Punkt erreicht hat, wo der vertiefte Ton nahe daran ist, auf den hohen zurück zu springen. Denn alsdann kann die Bedeckung den Ton etwas erheben und sogar den Sprung herbeiführen. So war z. B. bei einer Ansatzröhre von 21 Zoll der Ton nahe am Sprunge von $\overline{\text{dis}}$ auf $\overline{\text{g}}$. Bei dieser Länge konnte der Ton durch theilweise Bedeckung der Endöffnung auf $\overline{\text{e}}$ gebracht und selbst der Sprung auf $\overline{\text{g}}$ leichter herbeigeführt werden.

b) Der *dicht vor der Zunge befindliche Theil* des Ansatzrohres, mithin der der Endöffnung entgegengesetzte Theil, wird verengert. Ist diese Verengerung (Stopfung) bedeutend, so wird dadurch der Ton meistens erhöht.

In dem Bisherigen war das mit der Zunge verbundene längere Rohr ein *Ansatzrohr*. Wir betrachten jetzt die Erscheinungen bei ihrer Verbindung

b) mit einem *Windrohre*.

Die Resultate seiner Untersuchungen über die Wirkung der verschiedenen Längen eines Windrohres auf den Ton hat Müller sehr zweckmässig mit denen der verschiedenen Längen des Ansatzrohres zur Vergleichung zusammengestellt, weshalb ich sie hier eben so mittheile. Benutzt wurde zu diesen Versuchen eine einlippige Zunge, die über eine Röhre von $\frac{1}{2}$ Zoll Länge gespannt war und deren Rande eine feste Holzplatte gegenüber lag. Diese Zunge wurde in dem einen Falle mit einem Ansatzrohre versehen und durch den Mund angeblasen, indem der Umfang des Rahmens mit den Lippen umfasst wurde; im zweiten Falle wurde dieselbe Zunge ohne Anspruchsrohr mit einem Windrohre angeblasen, das beliebig so wie im ersten Falle das Ansatzrohr verlängert werden konnte. Die folgende Tabelle enthält die Längen des Ansatzrohres und Windrohres, welche nöthig waren, um aus derselben gleichgestimmten Zunge dieselben Töne zu erhalten.

I. Der Grundton der Zunge an und für sich (für den Anspruch mit dem Munde) war h̄.

Windrohr ohne Ansatzrohr.	Töne.	Ansatzrohr ohne Windrohr.	Töne.
4″ 6‴	āis	1″ 2‴	āis
9″ 10‴	ā	2″	ā
13″	ḡis	3″ — 5″ 6‴	ḡis
15″ 6‴	ḡ	7″ 6‴	ḡ
17″ 6‴	f̄is	9″	f̄is
19″	f̄	10″	f̄
. . .	. .	13″	ē
. . .	. .	17″	d̄is
20″	f̄ und āis		
. . .	. .	22″ 4‴	āis +
24″ 6‴	ā		

Windrohr ohne Ansatzrohr.	Töne.	Ansatzrohr ohne Windrohr.	Töne.
27″ 6‴	$\overline{\text{gis}}$		
29″	$\overline{\text{g}}$	23″	$\overline{\text{g}}$
32″	$\overline{\text{fis}}$	25″ 6‴	$\overline{\text{fis}}$
. . .	. .	27″ 6‴	$\overline{\text{f}}$
. . .	. .	32″	$\overline{\text{c}}$
. . .	. .	39″ 6‴	$\overline{\text{dis}}$
35″	$\overline{\text{f}}$ und $\overline{\text{ais}}$		
37″	$\overline{\text{a}}$		
42″	$\overline{\text{gis}}$		
46″	$\overline{\text{g}}$	40″	$\overline{\text{g}}$
. . .	. .	42″	$\overline{\text{fis}}$
. . .	. .	45″	$\overline{\text{f}}$

II. Der Grundton der Zunge allein war $\overline{\overline{\text{c}}}$.

Windrohr ohne Ansatzrohr.	Töne.	Ansatzrohr ohne Windrohr.	Töne.
		1″	$\overline{\overline{\text{c}}}$
		3″	$\overline{\overline{\text{dis}}}$
4″ 9‴	$\overline{\overline{\text{d}}}$	3″ 9‴	$\overline{\overline{\text{d}}}$
6″	$\overline{\overline{\text{cis}}}$	4″ 9‴	$\overline{\overline{\text{cis}}}$
7″ 6‴	$\overline{\overline{\text{c}}}$	5″ 6‴	$\overline{\overline{\text{c}}}$
9″ 6‴	$\overline{\text{h}}$	6″ 2‴	$\overline{\text{h}}$
. . .	. .	7″ 4‴	$\overline{\text{ais}}$
10″	$\overline{\text{a}}$	10″	$\overline{\text{a}}$
. . .	. .	13″ 6‴	$\overline{\overline{\text{e}}}$ — $\overline{\overline{\text{dis}}}$
15″ 9‴	$\overline{\overline{\text{d}}}$	15″	$\overline{\overline{\text{d}}}$
18″ 9‴	$\overline{\overline{\text{cis}}}$	15″ 8‴	$\overline{\overline{\text{cis}}}$
. . .	. .	17″ 6‴	$\overline{\overline{\text{c}}}$

Windrohr ohne Ansatzrohr.	Töne.	Ansatzrohr ohne Windrohr.	Töne.
22″	$\bar{h}$	20″	$\bar{h}$
. . .	. .	24″	$\bar{a}$
. . . .	. .	28″	$\bar{\bar{d}}$is
24″ 9‴	$\bar{\bar{d}}$	29″ 6‴	$\bar{\bar{d}}$
30″ 6‴	$\bar{\bar{c}}$	30″	$\bar{\bar{c}}$
	Spricht nicht mehr an.	30″ 6‴	$\bar{h}$
		34″	$\bar{a}$is
		35″	$\bar{a}$
		41″ 6‴	$\bar{\bar{d}}$is — $\bar{\bar{c}}$
		42″	$\bar{\bar{c}}$
		43″ 6‴	$\bar{h}$

Diese Tabelle zeigt, dass auch die successive Verlängerung des Windrohres ähnliche Wirkungen wie die Verlängerung des Ansatzrohres habe; denn auch bei der Verlängerung des erstern vertieft sich der Ton nach und nach um halbe Töne, bis zu einer gewissen Grenze, und springt dann auf den hohen Ton zurück, vertieft sich dann bei fortgesetzter Verlängerung abermals, springt bei einer gewissen Länge wieder in den hohen Ton, und so fort. In Hinsicht der Längen aber, bei welchen diese Veränderungen des Tones eintreten, stimmen das Wind- und das Ansatzrohr nicht überein; denn in der Regel ist das Windrohr, wenn es im Tone mit dem Ansatzrohre übereinstimmt, länger als dieses. Nur 2 Fälle unter den in der Tabelle genannten weichen hiervon ab. Bei II. findet man, dass bei $\bar{a}$ beide Röhren 10″, und bei dem zuletzt stehenden $\bar{\bar{d}}$ das Windrohr 24″ 9‴ lang, also kürzer als das Ansatzrohr ist, dessen Länge hier 29″ 6‴ beträgt. — Vergleicht man diese Tonänderungen beim Windrohre mit W. Weber's Theorie der Zungenpfeifen, so erkennt man bald,

dass sie, wie schon oben erwähnt worden, nicht zur dortigen IIten Classe gehören, weil hier die Töne nicht höher als der Grundton der Zunge, sondern meistens tiefer sind; dass sie mithin der dortigen Isten Classe von Seiten ihrer Tonveränderung angehören, dass aber die dortigen speciellen Regeln über den Grad der Vertiefung und die Längen, wo der gesunkene Ton auf den hohen zurückspringt, hier nicht ihre volle Gültigkeit haben, indem z. B. der Grundton der Zunge nicht tiefer sinkt als höchstens eine Sexte.

Auch beim Windrohre hat die *Verengerung* des einen oder andern Endes Einfluss auf den Ton:

1) Bringt man in einem kurzen Windrohre gegen das Ende, wo die Zunge ist, eine Verengerung an, so wird der Ton etwas höher; diese hat also eine der Verkürzung des Rohres ähnliche Wirkung.

2) Wird dagegen das entgegengesetzte Ende, wo die Lippen angesetzt werden, durch Verengung der Lippenöffnung enger gemacht, so wird der Ton tiefer, wenn der Ton nicht durch die Länge des Windrohres vertieft ist; hat das Windrohr aber den Ton sehr vertieft, so ändert die Verengerung der Lippenöffnung entweder den Ton nicht, oder erhebt ihn sogar ein wenig.

In allen bisherigen Fällen war die Zunge nur mit *Einem* Rohre verbunden. Wir betrachten jetzt den zweiten Fall.

2) *Membranöse Zungen, die mit zwei längern Röhren, einem Ansatzrohre und einem Windrohre, zugleich verbunden sind.*

Hier kann man 2 Fälle unterscheiden:

a) Ansatz- und Windrohr haben eine solche Länge, dass jedes allein, mit der Zunge verbunden, *einerlei Ton* gibt. In diesem Falle werden, dem Obigen zufolge, die beiden Röhren in der Regel *verschiedene* Längen haben.

b) Ansatz- und Windrohr geben für sich allein, mit der Zunge verbunden, *verschiedene Töne.* In diesem Falle würden folgende Fälle möglich sein:

aa) die Luftsäule des einen Rohres accommodirt sich in ihren Schwingungen der Luftsäule des andern Rohres;

bb) beide accommodiren sich gegenseitig.

Da aber nicht bloss die Luftsäulen, sondern auch, und zwar in noch höherem Grade, die beiden gemeinsame Zunge die Tonhöhe bestimmt, so sind diese Fälle complicirter als bei den Zungenpfeifen, und können nach den wenigen, bis jetzt hierüber angestellten Versuchen in keiner Hinsicht genauer jetzt bestimmt werden. Nur so viel ist durch Müller's Versuche ermittelt worden:

1) dass bei einer gewissen Länge des Ansatzrohres die Verlängerung des Windrohres den Ton immer ändert, bis die gegenseitigen Einwirkungen gleich sind;

2) dass bei einer gewissen Länge des Windrohres die Verlängerung des Ansatzrohres den Ton auch wieder vertieft, bis bei einer gewissen Grenze derselbe in den hohen Ton zurückspringt, worauf er bei noch weiterer Verlängerung sich wieder bis zu einer gewissen Grenze vertieft, dann wieder auf den hohen Ton zurückspringt, und so fort. Als Beispiele von der Wirkung der Verlängerung des Ansatzrohres bei gleichbleibender Länge des Windrohres führt er folgende Versuche an. Bei einem Windrohre von 6 Zoll Länge fiel der Grundton d̄, wenn eine Ansatzröhre von 4 Zoll hinzugefügt wurde, auf c̿is; wurde die letztere auf 4½ Zoll verlängert, war der Ton d̿is; bei 5″ fiel er wieder und erreichte d̿ vor 6″. Bei weiterer Verlängerung des Ansatzes fiel er wieder, und war bei 8½ Zoll c̿is, was bis 16½ Zoll blieb. Bei 16½ Zoll stieg der Ton wieder auf d̄; bei 18 bis 24 Zoll war

der Ton wieder tiefer, c̿is; bei 27½ Zoll stieg er wieder auf d̿; bei 32½ Zoll war er wieder gefallen, c̿is, und so blieb er bis 4 Fuss.

3) dass, wenn man ein Ansatzrohr in 2 gleiche Hälften theilt, und die eine Hälfte als Ansatzrohr, die andere Hälfte als Windrohr mit der Zunge verbindet, der Ton von dem verschieden ist, welcher erfolgte, als das Ansatzrohr noch ungetheilt als solches wirkte. Z. B. ein Ansatzrohr von 12½ Zoll gab mit der Zunge f̄is; wurden aber diese 12½ Zoll Rohr auf 6¼ Ansatz- und 6¼ Windrohr vertheilt, so war der Ton ḡis. Eine Ansatzröhre von 7½ Zoll gab mit einer Zunge āis; diese 7½ Zoll Rohr auf Ansatz- und Windrohr zu gleichen Hälften vertheilt, gab d̿.

II. Classe.

Töne einer membranösen Zunge mit längerem Rohre, wenn kein Luftstrom durch dasselbe geht.

Man kann, wie gleich zu Anfang dieses Abschnitts erwähnt ist, eine Membran auch dadurch zum Tönen bringen, dass man durch ein feines Röhrchen von der Seite quer darüber hin bläst. In diesem Falle geht, wenn das die Membran enthaltende Mundstück mit einem Ansatzrohre verbunden ist, gar kein Luftstrom durch dasselbe, was sonst stets der Fall ist. Dessenungeachtet wird auch hier der Ton durch gewisse Längen einer Ansatzröhre verändert, wie folgende Versuche Müller's ([87]) zeigen, bei deren Mittheilung ich hier, um eine weitläufigere Beschreibung seines Apparates zu ersparen und die Länge der Ansatzröhren, die sämmtlich 1 Zoll im Durchmesser hatten, allgemein verständlicher zu bezeichnen, dieselben nach den Zollen und Linien angebe, die ich aus den Grundtönen der Luftsäulen dieser einzelnen oder auf gewisse Weise vereinigten Röhren, wie er sie S. 157. bestimmt hat, berechnet habe.

87) *Müller* a. a. O. S. 160 f.

I. Der Grundton der Zunge des Mundstücks ohne allen Ansatz beim Anspruch mit einem feinen Röhrchen h̅.

Länge des Ansatzrohres.	Töne.	Länge des Ansatzrohres.	Töne.
5″ 8‴	a̅i̅s̅	22″ 8‴	g̅i̅s̅
7″ 6$\frac{2}{3}$‴	h̅	45″ 4‴	a̅i̅s̅
11″ 4‴	h̅ schwach.		

II. Der Ton der Zunge des Mundstücks war bei 3½ Zoll Ansatzrohr c̿.

Länge des Ansatzrohres.	Töne.	Länge des Ansatzrohres.	Töne.
3″ 6‴	c̿	11″ 4‴	c̿
5″ 8‴	c̿	22″ 8‴	c̿
7″ 6$\frac{2}{3}$‴	c̿	45″ 4‴	h̅

III. Der Ton der Zunge des Mundstücks war bei 3½ Zoll Ansatzrohr d̅i̅s̅.

Länge des Ansatzrohres.	Töne.	Länge des Ansatzrohres.	Töne.
3″ 6‴	d̅i̅s̅	11″ 4‴	d̅
5″ 8‴	d̅	22″ 8‴	d̅i̅s̅
7″ 6$\frac{2}{3}$‴	c̅i̅s̅	45″ 4‴	d̅

IV. Der Ton der Zunge des Mundstücks war bei 2½ Zoll Ansatzrohr h̅.

Länge des Ansatzrohres.	Töne.	Länge des Ansatzrohres.	Töne.
2″ 6‴	h̅	22″ 8‴	h̅ schwach.
5″ 8‴	a̅i̅s̅	45″ 4‴	h̅ schwach.
11″ 4‴	h̅ schwach.		

Anmerkung Als Ursache des Tons der Zungenwerke hält Müller (Physiologie Bd. II. Abth. I. S. 174 ff.) nicht die *Luftstösse*, welche durch die Unterbrechungen des Luftstromes bewirkt werden, sondern glaubt, dass die Zungen selbst durch ihre Eigenschwingungen tönen, und dass die der Luft mitgetheilten Stösse den Ton nur einigermassen verstärken. Die Gründe, welche er für seine eigene Ansicht und gegen die erstere aufstellt, möge man am angezeigten Orte nachlesen.

Die bisher erläuterten Zungenwerke mit membranösen Zungen waren bloss künstliche Vorrichtungen, von denen bis jetzt kein Gebrauch in der Musik gemacht wurde. Dennoch sind sie auch für diese von Wichtigkeit in sofern, als dadurch die bis jetzt noch fehlende Theorie

mehrerer Blasinstrumente,

die zu dieser Classe der Zungenwerke gehören, erleichtert wird. Diese Instrumente sind *Trompeten*, *Hörner*, *Posaunen*, *Serpente* oder *Schlangenrohre* und die (jetzt veralteten) *Zinken*. Bei diesen findet zwar keine membranöse Zunge in der Art, wie bei den zuvor betrachteten Zungenwerken, Statt; aber die *Lippen des Blasenden wirken hier als membranöse Zungen*, indem sie durch die Muscularcontraction des Sphincters (oder kreisförmigen Muskels) gespannt und durch den zwischen ihnen hindurchgepressten Luftstrom in Schwingung versetzt werden. Man kann daher mit vollem Rechte die so gespannten Lippen mit derjenigen Art der obigen Zungenwerke vergleichen, welche bloss aus einem Mundstück mit einem Windrohre besteht. Denn das Letztere wird hier durch die Athemwerkzeuge und die Mundhöhle vertreten; an die Stelle des Mundstücks mit gespannter membranöser Zunge treten hier die gespannten Lippen. Wird an diese eines jener Blasinstrumente gesetzt, so erhält man ein Analogon zu derjenigen Art der obigen Zungenwerke, wo diesseit der Membran ein Windrohr, jenseit derselben ein den Ton der Zunge modificirendes Ansatzrohr sich befindet.

Dass jene Blasinstrumente wahrhaft zu den Zungen- oder Schnarrwerken gehören, und die Lippen die Stelle der membranösen Zungen vertreten, erhellet

1) daraus, dass man z. B. mittelst des kräftigsten Cylindergebläses auf einer Eisenhütte den Luftstrom mit aller möglichen Kraft in ein solches Blasinstrument durch das Mundstück kann pressen lassen, ohne dadurch jemals einen Horn-, Trompeten-, oder Posaunen-Ton u. s. w. zu erzeugen ([88]).

2) daraus, dass, so bald man eine Zunge mit einem solchen Blechinstrumente verbindet, dieselben Töne erfolgen können, wie wenn es mit den Lippen angeblasen wird, wie die oben erwähnte Trompetermaschine, wie auch das Kindertrompetchen beweisen.

3) Als positiver Beweis, dass die *Lippen* hier als membranöse Zungen wirken, kann Folgendes gelten:

a) Man nimmt ihre Schwingungen unmittelbar mit den Augen wahr, wenn man statt der Mundstücke aus Messing solcher aus weisem Glase sich bedient. Oder man richte ein metallenes Mundstück so ein, dass es sich in einem seiner grössern Querschnitte aus einander nehmen lässt. Bläst man mit einem solchen einen etwas hohen Ton und entfernt dann plötzlich das Instrument mit dem untern Theile des Mundstücks, so lässt sich in einem Spiegel die Bewegung der Lippen noch deutlicher wahrnehmen.

b) Dass die Lippen schwingen, geht auch daraus hervor, dass in der Höhle ([90]) des Mundstücks dieser Instrumente vor den Lippen stets ein freier Raum sein muss, damit sie sich frei bewegen können. Denn füllt man die Höhle des Mundstücks aus bis auf

---

88) *Pelisor*: Berichtigung eines Fundamentalsatzes d. Akust. S. 26. 89) S. ebend. S. 27. 90) In Hinsicht der Gestalt dieser Höhle des Mundstücks unterscheidet sich die Trompete von dem Horne, da sie bei jener becherförmig, bei diesem conisch ist.

einen mittlern engen Durchgang, so geben die fest angedrückten Lippen beim Blasen keinen Ton mehr.

c) Für den Parallelismus der hier wirkenden Lippen und der membranösen Zungen spricht auch die Thatsache, dass bei beiden verstärkte Spannung den Ton erhöht. Denn indem z. B. der Trompeter oder Hornbläser, wenn er höhere Töne anzugeben hat, die Lippenöffnung verengert, bewirkt er eine grössere Zusammenziehung des Sphincter oris. Eben dieser Zweck liegt dabei zum Grunde, dass der Primobläser ein engeres Mundstück als der Secundarius, der Bassposaunist und Serpentist ein viel weiteres als der Trompeter führt ([91]).

4) Während so eben der Parallelismus der Thätigkeit der Lippen beim Blasen dieser Instrumente und einer membranösen Zunge gezeigt wurde, lässt sich eine ähnliche Parallele auch zwischen der *Luftsäule* eines solchen Blasinstruments und eines Zungenwerks der oben beschriebenen Art nachweisen. Denn gehörten diese Instrumente zu den Flötenwerken, so würde die Höhe der Töne sich umgekehrt wie die Länge der Luftsäulen verhalten müssen. Allein die Töne der Trompete und des Horns nehmen nicht an Höhe mit der Länge des Rohres im umgekehrten Verhältnisse ab; vielmehr hat die Verminderung oder Vermehrung der Länge des Rohres bei den Trompeten nur einen geringern und untergeordneten Einfluss auf die Höhe des Tons, wie es bei den Zungenpfeifen der Fall ist. Die durch Verlängerung der Luftsäule zu erzielende Veränderung des Tons wird durch 2 Mittel erreicht;

a) *direct*: durch *Verlängerung* des Rohres, welches bei den Trompeten und Hörnern durch eingesetzte

91) Vgl. *G. Weber* A. Beitöne, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. VIII. S. 381.

Einschiebsel (deren man hierbei fast so viele hat, als es Tonarten gibt), bei den Posaunen durch Ausziehen ihrer verschiebbaren Röhre bewirkt;

b) *indirect*: durch *Stopfen*, d. h. theilweise Verengerung der Endöffnung. Dieses Verfahren ist schon oben als ein Äquivalent der Verlängerung der Luftsäule aufgestellt. Man wendet dasselbe z. B. beim Horne zur Vertiefung des Tons in folgender Weise an. Dieses Instrument umfasst bei einem geübten Bläser 3 Octaven, in dieser Folge ohne Stopfen C G c e g $\bar{c}$ $\bar{d}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$ $\bar{h}$ $\bar{\bar{c}}$; die ganze Tonfolge desselben mit den durch Stopfen hervorzubringenden Tönen ist

C	*F*	*G*	*H*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*a*	*h*	$\bar{c}$	$\bar{d}$	$\bar{e}$	$\bar{f}$	$\bar{g}$	$\bar{a}$	$\bar{h}$	$\bar{\bar{c}}$
	*		*		*		*		h*	*				*		*		

Das Sternchen bedeutet, dass der Ton durch Stopfung hervorgebracht wird, h* bedeutet halbe Stopfung. Die halben Töne können zum Theil noch durch halbe Stopfung hervorgebracht werden. — Das Hauptmittel der Tonerhöhung aber ist verstärkte Spannung der Lippen.

Es sind demnach diese Instrumente Zungenwerke mit membranöser Zunge, wobei das Timbre des Tons durch das Metall des Ansatzrohres (92) und die Höhe des Tons des Mundstücks (d. h. hier der als membranöse Zungen schwingenden Lippen) durch die gleichfalls schwingende Luftsäule des Ansatzrohres modificirt wird. Dieses ist namentlich die Ansicht Müller's (93), aus dessen Erläuterungen ich das Meiste des hier darüber Gesagten geschöpft habe. Zu den Zungenwerken werden sie auch von Muncke und Pellisov (94) gerechnet. Biot (95) hingegen handelt die Trompeten und Hörner bei den Flötenwerken ab, und

92) Vgl. *Pellisov* a. a. O. S. 19 f. 93) A. a. O. S. 171 ff. 94) A. a. O. S. 26 f. 95) Bd. II. S. 91.

erklärt die verschiedenen Töne, welche sie angeben, aus der verschiedenen Stärke des Anblasens der Luftsäule der Trompete. Allein die Stärke des Blasens hebt hier den Ton wenig und macht ihn nur stärker; die Verschiedenheit der Töne hängt vorzüglich von der Spannung der Lippen ab.

Nach dieser Erläuterung der Zungenwerke sind noch anzugeben

B.

Schwingungsarten des Gènder.

Dieses javanesische Instrument, welches nebst andern Stamford Raffles nach England brachte, und das sich jetzt im Museum der ostindischen Compagnie befindet, besteht, nach Wheatstone, aus 11 länglichen Metallplatten, deren Grundtöne der diatonischen Tonleiter entsprechen, wo aber die vierte und siebente Stufe fehlen, und 2 Octaven umfassen. Die schwingenden Platten bilden 2 auf auf ihre Länge senkrecht liegende Knotenlinien, und sind horizontal an 2 Schnüren aufgehängt, von denen die eine allemal durch 2 Löcher in der einen Knotenlinie, die andere durch 2 Löcher in der andern Knotenlinie der Platte geht. Unter jeder Platte befindet sich ein aufrecht stehendes Bambusrohr, dessen innere Luftsäule eine solche Länge hat, dass sie einen Ton von gleicher Höhe mit dem Grundtone der Platte geben kann. Wird die Öffnung des Bambusrohres zugedeckt, und die darüber befindliche Platte angeschlagen, so hört man bloss mehrere hohe Töne, welche dadurch entstehen, dass die Platte in mehrere schwingende Unterabtheilungen zerfällt; nimmt man aber den Deckel von der Öffnung des Bambusrohres weg, so entsteht ein neuer, tiefer, voller Ton. Hierbei findet folgendes Zusammenwirken der Platte und der Luftsäule Statt. Die Platte wird durch Anschlagen in Schwingung gesetzt, neigt sich aber, wenn sie sich ganz selbst überlassen ist, mehr zur Hervorbringung ihrer Flageolettöne, als zu der ihres Grund-

tons hin. Ist das unter ihr stehende Bambusrohr am obern Ende offen, so versetzt die schwingende Platte auch die Luftsäule des Rohres in Schwingung. Da aber der Grundton der letztern nur mit dem Grundtone, nicht aber mit einem Flageolettone der Platte übereinstimmt, so wirkt wiederum die in Schwingung gesetzte Luftsäule auf die Platte in sofern zurück, als sie die letztere veranlasst, statt eines Flageolettons gleichfalls ihren Grundton hervorzubringen. Da dieser somit von 2 selbsttönenden Körpern zugleich erzeugt wird, so wird er natürlich als ein voller, starker Ton vernommen ([96]).

§ 28 a.

Schwingungen und Töne tropfbarer Flüssigkeiten.

Dass die tropfbaren Flüssigkeiten nicht bloss einer *fortschreitenden*, sondern auch einer *stehenden* Schwingung fähig sind, haben H. und W. Weber in ihrer Wellenlehre gezeigt ([1]). Da nun diese Schwingungsart diejenige ist, bei welcher die Körper *selbsttönen* (s. S. 23.), so würden in sofern auch tropfbare Flüssigkeiten *tönen* können. Dass sie dieses auch wirklich vermögen, was man sonst geleugnet hat (vgl. S. 76.), scheint Cagniard de Latour, der Erfinder der Sirene (s. § 29.), dargethan zu haben. Es gibt, seinen Versuchen zufolge, z. B. eine unten verschlossene Röhre mit 3 Fuss langer Wassersäule, wenn man die Röhre longitudinal reibt, einen hydraulischen Ton von 800 einfachen Schwingungen in 1 Secunde; eine ganz offene Röhre gäbe also einen Ton von 1600 Schwingungen. Mittelst einer eigenen Pfeife, die er *conduit siffleur* nennt, hat derselbe gefunden, dass bei einer 20″ hohen Säule, reines Wasser 1478 Schwingungen in einer Secunde macht, Al-

96) S. *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 23. (53.) S. 329 f. und die Abbildung dieses Instruments Taf. II. Fig. 11.

1) S. *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 275 f. — Auch *Faraday* schreibt dem Wasser die Fähigkeit stehender Schwingungen zu, und gibt einen Fall an, wo dergleichen durch Windstösse bewirkt werden, s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 247.

kohol (v. 36 ° B.) 1400, Chlorcalciumlösung (v. 13 ° B.) 1488, Schwefelsäure (v. 66 ° B.) 1280, Salzsäure (v. 21 ° B.) 1472; Quecksilber 640; letzteres gab einen trompetenartigen Ton. Die Pfeife wurde unter den Flüssigkeiten durch dieselben mittelst eines Kautschukbeutels angeblasen (2).

§ 28 b.

Töne durch Stösse erzeugt.

Nachdem wir in dem Bisherigen die Töne solcher Körper betrachtet haben, welche, in eine stehende Schwingung versetzt, selbst tönen, wobei, nach W. Weber's Theorie, nur die Zungenpfeifen eine Ausnahme machen; bleiben hier noch diejenigen Fälle zu erwähnen, wo *Töne, ohne dass eine stehende Schwingung vorhanden ist, dadurch entstehen, dass der Luft eine hinlänglich schnell und regelmässig auf einander folgende Zahl von Stössen oder Schlägen durch einen Körper ertheilt wird.* Die Schnelligkeit, mit welcher diese Stösse auf einander folgen, oder, mit andern Worten, die Zahl derselben in einer gewissen Zeit, z. B. in 1 Secunde, bestimmt die Höhe des zu vernehmenden Tones.

Die hier zu erwähnenden Fälle ordnen wir nach der Beschaffenheit der dabei wirkenden Körper in 3 Classen. Diese Körper sind nämlich

1) entweder bloss *feste*,
2) oder bloss *flüssige*,
3) oder *feste* und *flüssige*.

I. Classe.

Die Luftstösse werden bloss durch feste Körper bewirkt.

Hier sind wieder 2 Fälle zu unterscheiden:

a) Bloss *ein* fester Körper ist thätig. Hieher kann man den sausenden oder zischenden Ton rechnen, welcher

---

2) Poggendorff's Annal. Bd. 26. (102.) S. 352.

durch schnelles Hauen in die Luft mittelst eines Stabes hervorgebracht wird, wozu sich am besten eine hölzerne Leiste, deren Dicke und Breite verschieden sind, eignet ([1]). Da man auch mittelst einer Peitsche einigermassen bestimmbare Töne erregen kann, so kann auch sie hieher gerechnet werden ([2]).

b) *Zwei* feste Körper sind thätig.

Hieher gehören folgende Fälle:

1) Der von Savart angewandte Apparat, um die Schwingungszahlen des tiefsten und des höchsten der vernehmbaren Töne zu finden. Die wesentlichsten und hier allein in Betracht kommenden Theile desselben sind a) eine Eisenstange, durch welche in der Mitte ihrer Länge und senkrecht auf ihre breiteren Flächen eine Axe hindurchgeht, oder ein an der Peripherie mit Zähnen versehenes Rad, welche mit einer gewissen Schnelligkeit in Umschwung gesetzt werden; b) eine dünne Platte oder ein Kartenblatt, welche entweder so angebracht sind, dass die Stange oder die Zähne des Rades beim Umschwunge dagegen schlagen und so eine von der Schnelligkeit der Umdrehung abhängende Anzahl periodischer Schläge machen ([3]); oder welche beide mit ihrem Rande dem in Umschwung gesetzten Rade in der Richtung einer seiner Radien bloss genähert werden, ohne sie zu berühren, und zwar so, dass

---

1) S. *Chladni's* Aufs.: »Über Töne bloss durch schnell auf einander folgende Stösse, ohne einen klingenden Körper«, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 8. (84.) S. 459. 2) S. *Chladni* a. a. O. Vgl. *Pellisov*: über Schall, Ton, Knall u. s. w. S. 18 ff. 3) S. *Savart*: über die Empfindlichkeit des Gehörorgans, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 20. (96.) S. 294 ff. Vgl. *Fechner*: Repert. I. S. 337 f. Statt der erwähnten Platte oder Karte kann man auch gewisse andere Körper mit gleichem Erfolge anwenden. *Robison* und Andere haben gezeigt, dass, wenn eine Federspitze gegen ein rotirendes gezahntes Rad gehalten wird, durch das blosse Aufschlagen der Feder in gleichen Zeiträumen auf die Zähne ein musikalischer Ton entsteht. *Willis* nahm ein Stück Uhrfeder, und drückte sie schwach gegen die Zähne des Rades, und erhielt durch das wiederkehrende Abspringen derselben gleichfalls einen musikalischen Ton. S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 24. (100.) S. 417.

die Ebene der Platte oder des Kartenblattes senkrecht auf der des Radius ist. Dass auch bei dem letztern Verfahren, wenn der Umschwung gehörig schnell ist, ein Ton, der sehr stark sein kann, gehört wird, hat folgende Ursache. Wenn ein Rad, das mehr oder weniger Speichen hat, gedreht wird, so pflanzt es der umgebenden Luft eine Bewegung nach derselben Richtung, als es selbst hat, ein. Wenn man nun, während die Luft sich in dieser Bewegung befindet, dem Rade in der bezeichneten Richtung den Rand einer dünnen Platte oder eines Kartenblattes nähert, dessen Ebene senkrecht auf der des Radius ist, so wird der Luftstrom beim Vorbeigehen einer Speiche des Rades von diesem Hemmniss momentan unterbrochen werden, und die Luft bis zu der Zeit, wo das Vorbeigehen Statt findet, sich oberhalb des Hindernisses zusammendrücken und zugleich unterhalb desselben ausdehnen, nach geschehenem Vorbeigehen aber die zusammengedrückte Luft sich sofort in den erzeugten unvollkommen leeren Raum hineinstürzen. Ist nun die Drehungsgeschwindigkeit hinlänglich gross, so wird durch diese plötzliche Bewegung der Luft ein ähnliches Geräusch erzeugt, als beim Hineinstürzen der Luft in ein Gefäss, welches mehr oder weniger verdünnte Luft enthält, gehört wird, und da dieser Umstand sich bei jeder Speiche wiederholt, so entsteht auf diese Weise eine Aufeinanderfolge kleiner Explosionen, deren Anzahl in zusammengesetztem Verhältnisse zu der Zahl der Speichen und der Drehungsgeschwindigkeit des Rades steht, und die, wenn ihrer eine hinlängliche Anzahl in einer Secunde Statt findet, einen anhaltenden Ton veranlassen, der eine grosse Intensität erlangen kann, wenn man, anstatt eines einzigen Hemmnisses, deren 4 in

einer und derselben Diametralebene des Randes anbringt ([4]).

Ferner scheinen hieher zu gehören

2) folgende merkwürdige Fälle, wo *zwei metallene Körper von bedeutender Temperatur-Differenz* sich berühren, und indem sie diese Differenz auszugleichen streben, eine Anzahl Stösse sich ertheilen, wodurch, wenn sie hinreichend schnell auf einander folgen, ein vernehmbarer Ton entsteht.

a) Eine flach-convexe, nur *so eben* in der Pfanne *erstarrte Scheibe Amalgamationssilber* legte man mit der convexen Seite auf einen *kalten Amboss.* Sie lag wegen der zufälligen Gestalt der Pfanne, in welche sie ausgegossen war, nur mit drei Punkten auf dem Ambosse auf, lag also hohl. In dieser Lage gab sie einen Ton, den man dem einer tiefen Orgelpfeife ähnlich fand. Drehte man sie in eine andere Lage, so tönte sie zwar auch, aber schlechter. — Ganz gleichgestaltete *Scheiben, aus fein gebranntem Silber gegossen,* zeigten bei gleichem Verfahren einen merklichen Unterschied. In keiner dieser Scheiben entstand nämlich von selbst (d. h. ohne Daranschlagen) ein Tönen, wenn sie, wie die des Amalgamationssilbers, auf drei Punkten fest auflagen, sondern nur, wenn sie bloss an zwei Stellen auflagen. In dieser Lage gerieth die Scheibe in eine schwankende Bewegung, indem sie sich um die Axe, die durch die beiden Punkte bestimmt wurde, hin und her drehte. Diese Bewegung wurde sehr schnell, und durch das Anschlagen gegen den Amboss entstand ein ununterbrochener

---

4) S. *Fechner*: Repert. I. S. 339 ff.

tiefer, brummender Ton. Zugleich hörte man einen zweiten feinen, doch nur sehr schwachen Ton. Beide waren qualitativ und quantitativ ganz verschieden von den sogenannten Orgeltönen des Amalgamationssilbers. War der Amboss gar zu heiss geworden, so war die Silberscheibe nicht mehr zum Tönen zu bringen, wohl aber, sobald er dann mit Wasser abgekühlt wurde ([5]).

b) Legt man ein *heisses Schüreisen*, oder eine *heisse Wagenfeder*, oder einen *heissen silbernen Löffel* auf *kaltes Blei*, so können sehr musikalische Töne entstehen ([6]).

c) Durch ein solches Tönen eines heissen, auf kaltes Blei gelegten Schüreisens wurde Trevelyan (aus Wellington in Northumberland), während seines Aufenthalts in Edinburg, zur Erfindung eines Instruments (1829) veranlasst, das er *rokker* (Wackler, Wieger) nannte, das von Andern aber auch nach dem Erfinder *Trevelyan-Instrument* genannt wird. Er fand nämlich bei seinen Versuchen, dass ein Schüreisen nicht die beste Gestalt für das heisse Metall besitze, um ein solches Tönen zu erzeugen, und wandte deshalb Stäbe an, welche die Gestalt des Schlägers hatten, dessen die Engländer sich beim Cricket-Ballspiele bedienen. Wenn ein solcher Stab, der aus *Kupfer*, oder *Messing*, oder *Eisen*, oder *Zink*, oder auch aus einem andern Metalle sein kann, an seiner untern Fläche mit einer platten Schneide, von welcher zu beiden Seiten die Flä-

---

5) Das Ausführlichere über diese auf der Seigerhütte zu Hettstädt gemachten Versuche s. in *Gilbert's* Annal. d. Phys. Bd. 22. S. 323 ff.

6) Diese Versuche hat *Robison* in Edinburg gemacht; s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 21. (100.) S. 469. — *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 4. (64.) S. 422.

chen unter einem stumpfen Winkel aufwärts steigen, und an dem einen Ende mit einem Knopfe versehen ist, nachdem er über den Siedepunkt des Wassers erhitzt worden, auf ein Stück *kaltes Blei* oder auch *Zinn* mit seiner platten Schneide so gelegt ist, dass er unter einem spitzen Winkel gegen die Fläche, worauf jenes kalte Metall liegt, geneigt ist und diese mit dem knopf- oder kugelförmigen Ende berührt, so beginnt er sogleich von einer Seite seiner platten Schneide zur andern sich zu wiegen und setzt dieses so lange fort, bis die Temperaturen des Stabes und der Blei- oder Zinnmasse völlig oder doch beinahe ganz sich ausgeglichen haben. Der Knopf des einen Endes hat den Zweck, diese Schwankungen regelmässiger zu machen, als sie bei einer andern Gestalt desselben sein würden. Wenn die während des Wackelns sich berührenden Flächen des heissen Stabes und der kalten Blei- oder Zinnmasse eben sind, so ist der durch die successiven Anschläge des sich wiegenden Stabes hervorgebrachte Schall kein musikalischer Ton. Befindet sich aber auf der Fläche des einen Körpers eine Furche, so entsteht ein musikalischer Ton, der zuweilen, wenn die Schwingungen rasch genug geschehen, eine ziemliche Höhe hat, was auch durch gelindes Andrücken des Stabes auf die kalte Metallmasse bewirkt werden kann, indem durch einen solchen Druck der Ton zuweilen um mehr als eine Octave erhöht wird, mit der Entfernung des Druckes aber augenblicklich wieder sinkt. Oft mischen sich unter diesen, durch die Schläge des Wacklers hervorgebrachten Ton noch andere Töne, welche aus dem Klingen des Metalls oder den Vibrationen

der die beiden Metalle tragenden hölzernen Unterlage entspringen ([7]).

Bei den bisher erwähnten Fällen war der die Unterlage bildende Metallkörper kalt, der darauf gelegte heiss, aber auch

d) eine *kalte Stange von Blei*, auf einen *heissen Block von einem harten Metalle* gelegt, zeigt ähnliche Erscheinungen ([8]).

Bei der Erklärung dieser Thatsachen möchte auch die Erscheinung in Betracht kommen, welche Seebeck beim Erhitzen gewisser thermo-magnetischer Ketten wahrgenommen hat. An zweigliedrigen Kreisen, deren einer Theil von Kupfer, der andere von Antimon oder Zink war, wurde nämlich bei schneller, starker Erhitzung des einen Berührungspunktes von Zeit zu Zeit ein Klang gehört. Selbst anhaltende Töne wurden in einem jener zweigliedrigen Kreise vernommen, namentlich in Kreisen von *Messing* und *Zinn*, desgleichen von *Messing* und *Blei*, wo sogar Doppeltöne, ein sehr tiefer und ein hoher, beide schwach, doch sehr deutlich zu hören waren ([9]).

Die hier erwähnten Fälle lassen sich in Betreff der gegenseitigen Berührung der beiden Metalle in 2 Classen eintheilen:

1) in solche, wo, während *gewisse Punkte permanent* sich berührten, bei *gewissen andern nur momentan* und abwechselnd eine Berührung eintrat, indem sich der eine Körper von einer Seite zur andern wiegte; und

---

7) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 24. (100.) S. 466 ff. — *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. Bd. 4. (64.) S. 421 ff. — *Fechner*: Repert. I. S. 254 f. An den beiden erstern Stellen findet man auch die Abbildung des Instruments.

8) *Poggendorff's* Annal. a. a. O. S. 469. — *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. a. a. O. S 422.

9) S. *Seebeck*: über die magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 6. (82.) S. 269.

2) in solche, wo die Berührung in *allen* Punkten, in welchen sie überhaupt Statt fand, mochten ihrer viele oder wenige sein, *permanent* war.

Am sichersten darf man wohl die erstere Classe als eine solche betrachten, wo bloss durch die rasch auf einander folgenden Stösse des einen Körpers gegen den andern der vernehmbare Ton entsteht. Diese wiegende Bewegung aber, wodurch diese periodischen Stösse entstehen, erklärt Faraday (10), und wohl mit Recht, auf folgende Weise. Wenn der heisse Körper und der kalte so sich berühren, dass ein Schwanken von einer Seite zur andern eintreten kann, so wird ein solches dadurch hervorgebracht, dass ein Punkt des kalten durch die momentane Berührung des heissen schnell nach allen Seiten, besonders aber nach aussen, nach dem ihn berührenden heissen Körper hin, zu einem Hügel sich ausdehnt, und dadurch diesen Körper von sich auf die andere Seite stösst, oder, falls der kalte der aufliegende bewegliche ist, selbst nach der andern Seite gestossen wird. Auf dieser andern Seite erfolgt nun das Nämliche an 2 andern Berührungspunkten, wovon ebenfalls ein Rückstoss nach der erstern Seite hin, an welcher während der momentanen Entfernung beider Körper die durch Expansion des kalten und Contraction des heissen bewirkten Erhöhungen und Vertiefungen sich wieder ausgeglichen haben, die natürliche Folge ist. Dieses Hin- und Herstossen dauert so lange fort, als eine hinlängliche Temperaturdifferenz zwischen den beiden Körpern Statt findet. Dass sich dieses Phänomen besonders da zeigt, wo der angewandte Körper eine Bleimasse ist, erklärt man aus dessen grosser Expansibilität durch Hitze, verbunden mit seiner schwachen wärmeleitenden Kraft, die noch nicht $\frac{1}{5}$ von der des Kupfers, Silbers oder Goldes beträgt. Die Wärme

---

10) Man findet seine Erklärung ausführlicher in *Schweigger-Seidel's* N. Jahrb. a. a. O. S. 423 ff., kürzer in *Poggendorff's* Annal. Bd. 24. (100.) S. 470 ff.

muss sich daher in den Berührungspunkten des Bleies viel stärker anhäufen, als in denen der andern Metalle, und wird daher auch eine verhältnissmässig viel grössere Ausdehnung hervorbringen.

Zweifelhaft könnte vielleicht sein, ob auch bei der zweiten Classe, bei welcher wenigstens kein sichtbares Schwanken beobachtet ist, der Ton von blossen Stössen oder von einer stehenden Schwingung des einen, oder beider Körper herrührte. Ich halte das Erstere für wahrscheinlicher, namentlich bei der zuerst erwähnten Scheibe von Amalgamationssilber deshalb, weil, nach Savart's Beobachtungen, alle nicht regelmässig krystallisirte Körper, zu denen auch die Metalle gehören, sogleich nach ihrer Erstarrung im Allgemeinen weit schwieriger ertönen, als nach einigen Stunden, nach einigen Tagen und nach einigen Monaten ([11]).

Zu dieser Classe, wo die Töne durch blosse Stösse zweier Körper bewirkt werden, gehören auch die S. 107 ff. erklärten *Klirrtöne.*

II. Classe.

Die Luftstösse werden bloss durch flüssige Körper bewirkt.

Diese flüssigen Körper sind

a) entweder *elastisch flüssige,*

b) oder *tropfbar flüssige.*

a) *Luftstösse durch elastisch flüssige Körper bewirkt.*

Hier muss die *Musik der Felsen* erwähnt werden, mit welchem Namen Michaelis ([12]) folgendes Phänomen bezeichnet. Der am Oronoko-Flusse in Südamerika liegende Fels, welcher Piedra de Carichana Vieja genannt wird, ist einer von denen, wo, wie A. von Humboldt ([13])

11) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 258 f. 12) S. Cäcilia Bd. I. S. 130. 13) S. dess. Relation hist. T. VI. p. 377. Eine von der folgenden verschiedene Erklärung hat neuerlich *Roulin* versucht, der gleichfalls jene Gegenden bereist hat. S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 15. (91.) S. 315. Die Missionarien nennen jene tönenden Steine, wie derselbe erwähnt, *Laxas de musica.*

sagt, Reisende von Zeit zu Zeit, um Sonnenaufgang, unterirdische Töne, gleich den Orgeltönen, gehört haben. Er selbst war zwar nicht so glücklich, etwas von dieser geheimnissvollen Melodie zu hören, glaubt jedoch an ihre Wirklichkeit, und schreibt die Töne dem Unterschiede der Temperatur zwischen der unterirdischen und der äussern Luft zu, welche um Sonnenaufgang ihren höchsten Grad erreicht, oder in dem Augenblicke, welcher zu dieser Zeit von der Periode des höchsten Grades der Hitze vom vorhergehenden Tage am entferntesten ist. Der Luftstrom, der durch die Spalten herausgeht, mag, wie er glaubt, jene Töne hervorbringen, welche man hören soll, wenn man, auf dem Felsen liegend, das Ohr an den Stein hält. — Diese Erscheinung schliesst sich demnach an die zuvor erwähnten Erscheinungen bei gegenseitiger Berührung gewisser Metalle von bedeutender Temperaturdifferenz an. Denn wie hier bei den verschieden temperirten Luftschichten, so entsteht auch bei jenen Körpern bei ihrer Berührung eine Wärme- und Kälteströmung durch die Theile derselben, indem sich die übrigen Theile eines jeden der beiden Körper mit demjenigen, der zunächst von dem andern, in der Temperatur sehr von ihm verschiedenen, berührt und afficirt wird, ins Gleichgewicht zu setzen streben.

Anmerkung. Das so eben Angeführte erinnert zwar leicht an das eigenthümliche Getöse zu Nakuhs am Berge Sinai, weil hier sowohl als dort bei einem Berge oder Felsen das Phänomen vernommen wird, allein die Ursache beider ist eine ganz verschiedene. Denn das sehr auffallende, durchdringende Getöse dieses Orts, welches, nach Seetzen (in v. Zach's Monatl. Correspondenz Bd. 26. S. 395.), anfangs dem Tone einer Äolsharfe gleicht, dann später dem eines Hohlkreisels ähnlich ist und zuletzt eine solche Stärke erreicht, dass die Erde zu beben scheint, wird, seiner Ansicht zufolge, durch das Herabrutschen des grobkörnigen, von der Sonne ausgedörrten, Sandes bewirkt; eine Ansicht, die von Ehrenberg, der 1823 gleichfalls diesen Ort besucht hat, vollkommen bestätigt ist, während der englische Reisende Gray, der diese Gegend 1818

besuchte, das Rutschen des Sandes nicht für die Ursache, sondern für die Wirkung des Getöses ansah, und dasselbe als vulcanischer Natur betrachtete und somit für ein unterirdisches hielt. S. Poggendorff's Annal. Bd. 15. (91.) S. 312 ff.

b) *Luftstösse durch tropfbar flüssige Körper bewirkt.*

Hieher kann man das Geräusch rechnen, welches z. B. durch das Herabfallen einer grössern oder geringern Quantität eines tropfbar flüssigen Körpers auf einen zweiten tropfbar flüssigen Körper derselben oder einer verschiedenen Art bewirkt wird.

III. Classe.

Die Luftstösse werden mittelst zweier Körper bewirkt, deren einer ein fester, der andere ein flüssiger ist.

Hier sind nach den 2 Hauptarten der flüssigen Körper 2 Fälle zu unterscheiden:

a) *Luftstösse, mittelst eines festen und eines elastisch flüssigen Körpers bewirkt.*

Hier sind vor Allem die 2 wichtigen Instrumente zu erwähnen, welche beide den Namen *Sirene* führen, deren eines von Cagniard de Latour, das andere von Opelt erfunden ist. Wir geben von beiden das Wesentlichste ihrer Einrichtung an.

1) Bei der *Sirene* Cagniard de Latour's ([14]) beruht, nach Biot ([15]), das Wesentlichste darin, dass ein anhaltender Luftstrom durch eine kleine Mündung tritt, vor welcher man eine, um ihre Mitte bewegliche, kreisförmige Scheibe anbringt, deren Rotationsbewegung entweder durch die Wirkung des Luftstroms selbst oder durch unmittelbare Anbringung einer mechanischen Po-

---

14) Man findet die Abbildung dieses Instruments bei *Biot* II. Taf. VI. Fig. 53. und bei *Baumgartner* Taf. III. Fig. 135. Complicirter ist der Apparat, welchen man in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 10. (86.) Taf. V. Fig. 8. und in *Schweigger*'s und *Schweigger-Seidel*'s Jahrb. Bd. 23. (53.) Taf. II. Fig. 8. abgebildet und an der erstern Stelle S. 274 f., an der letztern S. 313. genauer beschrieben findet. 15) Bd. II. S. 103 f.

tenz vermittelt wird. Die Scheibe ist an dem Theile ihrer Oberfläche, der successiv vor die Mündung tritt, mit einer gewissen Anzahl Öffnungen durchbrochen, die eine schiefe Richtung gegen ihre Ebene haben, damit der Impuls des Luftstroms beim Durchstreichen durch dieselben so zerlegt werde, dass sich die Scheibe wie ein gewöhnliches Flugrad drehe. Diese Löcher sind übrigens in einen, mit der Axe concentrischen Kreis gereiht und so gleich als möglich aus einander gestellt. Die Bewegung der Scheibe bringt diese Löcher successiv vor die Mündung, aus welcher der Luftstrom heraustritt, und sie verstatten ihm hierbei den Durchgang. Allein da sie nur einen Augenblick auf der Richtung jedes Luftstrahles verharren, so findet sich derselbe sogleich wieder durch die Ankunft des darauf folgenden vollen Zwischenraums der Scheibe aufgehalten. Diese Abwechslungen des Vollen und Leeren, die sich mit Schnelligkeit folgen, bringen also im Luftstrom gerade solche Intermissionen hervor, als die Schwingungen der Zunge der Mundstücke, wenn sie die Rinne, durch welche die dagegen geblasene Luft entweicht, abwechselnd öffnet und schliesst. Auch entsteht gleicherweise dadurch ein Ton, dessen Höhe, wie bei den Mundstücken, von der Anzahl der Intermissionen abhängt, die sich in der Secunde folgen. Die Sirene gewährt aber hierbei den Vortheil, dass sich die Bewegung der Scheibe messen und die Zahl ihrer Umdrehungen durch irgend ein mechanisches Mittel schätzen lässt, worauf man die Zahl der, in 1 Secunde Statt habenden, Intermissionen nach der gegebenen Anzahl der Öffnungen berechnen und diese Zahl mit der Höhe des dabei erfolgten Tones vergleichen kann. Die einem jeden Tone entsprechenden Schwingungszahlen, welche man auf diese Weise ermittelt, sind ganz der Theorie entsprechend, so dass dieses Instru-

ment, wie Dulong ([16]) sich darüber äussert, hierbei nichts zu wünschen übrig lässt, indem die Genauigkeit seiner Angaben fast ins Unbegrenzte geht.

2) Die *Sirene* Opelt's ([17]) unterscheidet sich von der erstern namentlich in folgenden Stücken:

a) ihre Hauptfläche ist *senkrecht* auf die Basis, bei der erstern aber *horizontal*;

b) sie ist in *dreizehn* concentrischen Kreisen von einer gewissen Anzahl Öffnungen durchbrochen, aber so, dass die Anzahl derselben in jedem Kreise verschieden ist; die erstere Sirene ist nur in *einem* concentrischen Kreise mit einer gewissen Anzahl Öffnungen durchbrochen. Ausserdem weichen sie in Hinsicht dieser Öffnungen darin ab, dass dieselben bei Opelt's Sirene eine gerade Richtung gegen die Scheibe haben, während die der andern in schiefer Richtung hindurchgehen; ferner auch darin, dass eine gewisse Zahl von Öffnungen grösser ist als die übrigen, während bei der andern alle gleich gross sind.

c) sie wird während ihrer hinreichend schnellen Umdrehung durch ein dünnes Röhrchen (z. B. durch einen an beiden Enden offenen Federkiel) angeblasen. Bläst man hiermit auf einen der concentrischen Kreise, so hört man den Ton, dessen Schwingungszahl gleich ist dem Produkte der in diesem rotirenden Kreise liegenden regelmässigen Unterbrechungen des Luftstroms mit der Zahl der Umdrehungen. Hier

---

16) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 439.

17) S. s. Schrift: Über die Natur der Musik S. 7 f. und auf der beigefügten Tafel mit Abbildungen Fig. 6., welcher die Scheibe allein, und Fig. 7., welcher den ganzen Apparat zur Umdrehung derselben darstellt. Auch wird die aus Pappe bestehende Scheibe mit dieser Schrift selbst zugleich ausgegeben. Statt des Namens *Sirene* schlägt er S. 8. den ungleich passendern *Rhythmometer* vor.

leistet sie also dasselbe wie die erstere. Bewegt man aber das Röhrchen, während man bläst, in der Richtung eines Radius der Scheibe schnell auf und ab, so hört man nicht, wie bei ersterem Verfahren, nur *einen* Ton, sondern *mehrere* Töne, solche nämlich, deren Schwingungszahlen den verschiedenen Produkten der Unterbrechungen gewisser Kreise mit der Zahl der Umdrehungen der Scheibe gleich sind. In sofern leistet Opelt's Sirene mehr noch als jene.

Hierher gehört ferner das von Savart ([18]) angewandte Verfahren, senkrecht gegen die Ebene eines gezahnten Rades, durch eine Röhre von etwas kleinem Durchmesser einen Luftstrom auf die Zähne des Rades zu treiben. Hierdurch entsteht eine analoge Wirkung, wie bei der Sirene; denn durch die Luft, die jedes Mal, wenn eine der zwischen den Zähnen befindlichen Lücken vor die Mündung tritt, zur Röhre hinausströmt und periodisch gegen die äussere Luft stösst, entsteht gleichfalls ein Ton, welcher der nämliche ist, wie der, welcher aus dem Stoss der Zähne gegen einen dünnen Körper hervorgeht, sobald dieser keinen Zahn unberührt überspringt (s. die Iste Classe); und welcher ebenso der nämliche ist, den die Sirene gibt, wenn die Zahl der in 1 Secunde auf einander folgenden Luftstösse dieselbe ist. Beide Apparate dienen also gegenseitig als vollständige Proben von der Genauigkeit der dafür aufgestellten Theorie.

Das Strömen eines sehr starken Windes durch eine enge Spalte, etwa in einer Bretterwand oder in einem Fenster, ist bisweilen auch hinreichend, um einen Ton hervorzubringen, der aber sehr unangenehm und heulend ist, weil er sich in jedem Augenblicke verändert, da dessen Höhe und Tiefe nicht nur von der geringern oder grössern Weite

---

18) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 20. (96.) S. 298.

der Spalte, sondern auch von der grössern oder geringern Heftigkeit des Windes abhängt ([19]).

b) *Luftstösse, mittelst eines festen und eines tropfbar flüssigen Körpers bewirkt.*

Auch hier beginnen wir mit der *Sirene*. Denn nach Cagniard de Latour's Versuchen bringt ein Strom von Wasser, der durch die Sirene hindurchgelassen wird, genau denselben Ton hervor, als ein Luftstrom, wenn die Zahl der Unterbrechungen des Stromes in der Secunde die nämliche ist, welches durch denselben Grundsatz erklärlich wird, auf dem das Gleichbleiben der Tonhöhe der Mundstücke beim Hineinblasen verschiedener Gasarten beruht ([20]). Müller ([21]) bemerkt hierbei, dass auch dann, wenn das schwingende Rad unter Wasser sich befindet, und nur den Strom des von unten durch Druck zugeführten Wassers in regelmässigem schnellem Wechsel hemmt, die dadurch hervorgebrachten Stösse, wenn sie schnell genug auf einander folgen, einen klaren Ton erzeugen, dessen Höhe mit der Schnelligkeit der Unterbrechungen oder Stösse zunimmt.

Hier ist endlich noch folgende Beobachtung Savart's ([22]) mitzutheilen. Befestigt man eine Glasröhre von etwa 1 Decimeter im Durchmesser und 2 Meter Länge, deren unteres Ende durch eine Metallplatte, welche in ihrer Mitte eine Öffnung von 5 bis 15 Millimeter im Durchmesser hat, verschlossen ist, in senkrechter Stellung, füllt sie mit Wasser und stellt 1 bis 2 Centimeter unter jener Öffnung ihres untern Endes eine Metallscheibe horizontal so auf, dass ihr Mittelpunkt senkrecht unter dem Mittelpunkte der Öffnung sich befindet und etwa 20 Millimeter von ihr entfernt

---

19) *Chladni* im *Poggendorff's* Annal. Bd. 8. (84.) S. 459 f. 20) *Biot* II. S. 106. 21) Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 134. 22) S. den Auszug aus einer Abhandlung über den Stoss eines flüssigen Strahls gegen eine kreisrunde Scheibe, von *Savart*, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 29. (105.) S. 357 ff.

ist, so breitet im Augenblicke, wo, bei völliger Ruhe der Flüssigkeit im Rohre, der ausfliessende Strahl die Scheibe trifft, derselbe sich nach allen Seiten aus, und bildet dadurch einen kreisrunden und zusammenhängenden Teller. Diese Teller sind niemals ruhig, vielmehr der Sitz eines periodischen Steigens und Sinkens von solcher Schnelligkeit, dass dadurch ein dumpfer Ton entsteht, dem ähnlich, welchen gewisse Vögel beim Fliegen mit ihren Flügeln verursachen. Auch bemerkt man, dass ihr Durchmesser periodisch um eine kleine Grösse wächst und abnimmt, und diese Abwechslungen wiederholen sich oft genug in einer Secunde, um einen starken und aushaltenden Ton hervorzubringen, wenn man einen starren Körper oder eine Membran dem freien Rande des Tellers bis zur Berührung nähert.

Schlussbemerkung
über die Ursache der Töne überhaupt.

Aus dem, was von § 17. an bis hieher gesagt worden, erhellet, dass Töne entstehen

1) durch Körper, welche in einer stehenden Schwingung sich befinden und dann gewöhnlich *selbsttönende* genannt werden;

2) durch Körper, die, ohne in einer solchen Schwingung sich zu befinden, nur eine hinreichend schnell und regelmässig auf einander folgende Zahl von Stössen bewirken.

Hieraus folgt, dass die *wahre nächste Ursache jeder Tonempfindung regelmässig sich wiederholende Stösse sind, welche dem Hörnerven mitgetheilt werden* (23), dass also auch die erstern Körper nur dadurch eine Tonempfindung erzeugen, dass sie durch ihre Schwingungen regelmässige und hinreichend schnelle Stösse zunächst dem sie umgebenden Medium und durch Vermittelung desselben, dem

23) *W. Weber*: Akustik S. 9 . — *Müller*: Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 133. 145.

Gehörnerven ertheilen. Diese Stösse nennt Opelt wegen dieser ihrer Wirkung *Klangpulse* ([24]). Stets aber müssen die Stösse jene beiden Eigenschaften haben:

1) sie müssen *regelmässig* auf einander folgen; denn ohne diese regelmässige Wiederkehr entsteht ein Geräusch (s. S. 66 f.).

2) sie müssen *hinreichend schnell* auf einander folgen, damit das Ohr sie nicht als einzelne Stösse empfinde. Hierbei kann man 3 Grade unterscheiden.

   a) Die Stösse folgen so langsam auf einander, dass die Empfindung des ersten *ganz aufgehört hat*, wenn der zweite das Ohr trifft, so dass das Ohr ihre *Zwischenzeiten* zu unterscheiden vermag. Sie werden dann als *periodische Schläge* vernommen.

   b) Die Stösse folgen so auf einander, dass die Empfindung des ersten *fast ganz aufgehört hat*, wenn der zweite das Ohr trifft und die Empfindung erneuert. Dann empfindet der Hörende einen *sumsenden Ton (son ronflant)*, den man mit einem Wogen, einem abwechselnden Steigen und Sinken eines sich bewegenden Körpers vergleichen kann ([25]). Um die Ursache dieses Tones zu verdeutlichen, füge ich Folgendes hinzu. Der Anfang und das Ende der Schallwellen, die durch den stossenden Körper erregt sind, können wenig Eindruck auf das Gehörorgan machen, weil die Lagen- und Dichtigkeitsveränderung der Lufttheilchen dann nur sehr wenig beträgt. Es ist aber eine Eigenthümlichkeit der Sinneswahrnehmungen, dass sie selbst nach dem Aufhören der sie hervorbringenden Ursache immer noch eine gewisse Zeit hindurch fortdauern. Folgt

---

24) *Opelt*: über die Natur der Musik. S. 9. 25) Etwas dem Ähnliches bezeichnen wir mit dem Zeitworte *summern*.

nun die zweite der ersten so langsam, dass die Empfindung der ersten nur noch schwach fortdauert, wenn durch den zweiten Stoss die Empfindung neue Intensität erhält, so unterscheidet das Ohr dann nicht *Zwischenzeiten*, sondern nur *Intensitätsverschiedenheiten*.

c) Die Stösse folgen so schnell auf einander, dass die Empfindung des vorhergehenden noch in gehöriger Stärke fortdauert, wenn der folgende das Ohr trifft In diesem Falle werden weder die wirklich Statt findenden *Zwischenzeiten* der Stösse wahrgenommen, noch auch selbst *Intensitätsverschiedenheiten*, welche an sich den verschiedenen Theilen der Schallwellen eigen sind, indem, wie schon erwähnt, die Wirkungen des Anfanges und des Endes einer solchen weit schwächer als die der zwischen ihnen liegenden Theile sind; sondern die Empfindung dauert während sämmtlicher in dieser Weise auf einander folgender Stösse in *gleicher Stärke* fort. In diesem Falle empfindet der Hörende einen *anhaltenden, stetigen Ton (son soutenu)*, und dieser allein ist der wahre *musikalische Ton. Wie schnell* aber die Stösse auf einander folgen müssen, um eine solche Tonempfindung zu erzeugen, oder, mit andern Worten, *wie gross ihre Anzahl* in einer gewissen Zeit, z. B. in 1 Secunde, dabei sein müsse, das lässt sich nicht absolut bestimmen, weil dabei viel auf die Stärke der Stösse ankommt; denn die Empfindung eines starken Stosses dauert länger ungeschwächt fort als die eines schwachen. Es können folglich starke Stösse langsamer als die letztern auf einander folgen, ohne die Stetigkeit der Tonempfindung aufzuheben. Hierdurch wird die S. 8. angeführte Äusserung Savart's deutlicher werden, dass, wenn man die (ungeschwächte) Dauer der Empfindung der

einzelnen Stösse vermehren könnte, auch selbst noch langsamere Schwingungen als 14—16 in 1 Secunde einen stetigen Ton erzeugen würden. Die Verlängerung dieser Dauer aber würde man durch Vergrösserung der Stärke der Stösse erreichen. Hierauf stützt sich seine S. 8. gleichfalls erwähnte Behauptung, dass es keine Grenze der Vernehmbarkeit tiefer Töne gebe ([26]).

§ 29.

3. *Einfluss der Quantität des schwingenden Körpers auf die graduelle Quantität seines Schalles* ([1]).

Die verschiedenen Punkte, welche hier in Betracht kommen, glauben wir am besten so zu ordnen, dass wir

1) den Einfluss der *Länge* oder der Grösse des *Durchmessers*,

2) den der *Breite*,

3) den der *Dicke* oder *Weite*,

4) den der gesammten *Grösse* und des (relativen) *Gewichts*,

5) den der *Grösse der Öffnungen* bei Orgelpfeifen und Blasinstrumenten

zeigen, und bei jeder der 4 ersten Abtheilungen die schwingenden Körper, an denen der Einfluss der in Rede stehenden Quantität nachgewiesen werden soll, in derselben Reihe folgen lassen, wie sie von § 17. an nach ihren Schwingungsarten sind erläutert worden.

---

26) Vgl. *Biot* II. S. 17 f. — *Fechner*: Repert. I. S. 339 ff. S. auch das oben S. 7. 83 ff. Gesagte, was hier theils zur Erläuterung dienen kann, zum Theil selbst hierdurch grösseres Licht erhält.

1) Die zweite Abtheilung, an welche sich diese dritte anreiht, begann § 16.

a) *Einfluss der Länge oder der Grösse des Durchmessers der schwingenden Körper auf ihre Tonhöhe.*

aa) *Einfluss der Länge auf die Tonhöhe der Saiten.*

Die Schwingungszahlen, also auch die Höhe der Töne, stehen sowohl bei longitudinal, als auch bei transversal schwingenden Saiten im umgekehrten Verhältnisse ihrer Längen; nur darin unterscheiden sich beide, dass bei den transversal schwingenden zugleich Dicke und Spannung einen grossen, die Materie einen sehr geringen (nach Chladni gar keinen) Einfluss hat, bei longitudinal schwingenden aber die Dicke gar keinen, die Spannung nur geringen, die Materie aber grossen Einfluss auf die Tonhöhe hat. Demnach kann man bei 2 transversal schwingenden Saiten von verschiedener Länge nur dann sagen, dass z. B. ihre Grundtöne im umgekehrten Verhältnisse ihrer Längen zu einander stehen, wenn Dicke und Spannung (und Materie) bei beiden gleich sind. Von 2 longitudinal schwingenden Saiten, die verschiedene Längen haben, gilt der Satz, dass die Schwingungszahlen z. B. der Grundtöne im umgekehrten Verhältnisse ihrer Längen stehen, nur dann, wenn sie von gleicher Materie (und Spannung) sind (2). Ausserdem muss die schon § 27. gemachte Bemerkung hier wiederholt werden, dass, wenn das hier aufgestellte Gesetz, auch bei den so eben beigefügten Beschränkungen, gelten solle, nicht die Gesammtlänge der Saite schlechthin, sondern vielmehr die Länge von dem einen befestigten Ende bis zum nächsten festen Punkte (der entweder das andere feste Ende oder ein Schwingungsknoten ist) als entscheidend in Betracht kommt, oder, mit andern Worten, dass jenes Gesetz nur von denjenigen Tönen verschieden langer, übrigens aber einander gleicher Saiten gelte, die auf einerlei Stufe stehen, z. B. ins-

2) *Chladni* S. 71. 76. — *Biot* II. S. 20. 24. 56 f. — *Baumgartner* S. 257. — *Fechner*: Repert. I. S. 268. 272. Vgl. § 39.

gesammt Grundtöne, oder erste Flageolettöne, oder zweite Flageolettöne u. s. w. sind. Diese Beschränkung ist, wie bereits § 27. erwähnt worden, deshalb nöthig, weil z. B. 2 gleichartige, gleich dicke und gleich gespannte transversal schwingende Saiten, deren eine doppelt so lang als die andere ist, dennoch denselben Ton hervorbringen können, wenn die kürzere nach ihrer ganzen Länge ungetheilt schwingt, die längere aber durch einen Schwingungsknoten sich in 2 gleiche Hälften theilt. Durch diese Eintheilung ist sie jener an Tonhöhe gleich geworden, weil die Grösse des Zwischenraumes zwischen dem einen festen Ende und dem ihm nächsten festen Punkte (welcher hier der Schwingungsknoten ist) über die Tonhöhe entscheidet. Hier hätte man also den Grundton der einen nicht mit dem Grundtone, sondern dem ersten Flageolettone der andern verglichen.

bb) *Einfluss der Länge auf die Tonhöhe der Luftsäulen.*

Die Länge der Luftsäule ist entweder eine *permanente*, oder eine *momentane*, durch Öffnung eines sogenannten Tonloches bewirkte.

α) Einfluss der *permanenten Länge.*

Auch hier kommt wieder zweierlei in Betracht:

αα) die *Länge an und für sich*,

ββ) das *Verhältniss der Länge zur Breite oder Dicke.*

αα) *Einfluss der Länge an und für sich.*

Auch bei schwingenden Luftsäulen gilt das Gesetz, dass, wenn alle übrige Umstände dieselben sind, die Zahl ihrer Schwingungen, und somit auch ihre Töne, sich umgekehrt wie ihre Längen verhalten (3), indem z. B. eine Luftsäule, die doppelt so lang als eine andere ist, bei übrigens glei-

---

3) *Chladni* S. 90. — *G. Weber* A. Blasinstrumente, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 328. — *Naue* A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S. 163.

chen Umständen nur halb so viele Schwingungen in derselben Zeit macht als die letztere, daher auch um eine Octave tiefer tönt als diese. Unter den »übrigens gleichen Umständen« sind, ausser der gleichen Qualität (vgl. S. 96 f.), namentlich auch folgende mit inbegriffen:

1) dass die zu vergleichenden Luftsäulen *auf einerlei Weise begrenzt sind*, also z. B. entweder sämmtlich in an beiden Enden offenen Röhren, oder sämmtlich in an einem Ende verschlossenen Röhren schwingen.

2) dass sie *einerlei Schwingungsart machen*, d. h. sämmtlich z. B. ihren Grundton oder ihren ersten Flageoletton geben.

3) dass die Luftsäule bei allen *im ganzen Querschnitt der Röhre gleichmässig erschüttert werde.* Denn wird die Luft in diesem Querschnitte bloss theilweise erschüttert, so wird die an diesem Ende befindliche schwingende Abtheilung der Luftsäule kleiner als im vorigen Falle, und der Ton etwas tiefer. Diese Vertiefung des Tones ist um so beträchtlicher, je grösser der Durchmesser der Luftsäule im Vergleich mit ihrer Länge ist ([4]).

4) dass die *Röhrenwände*, welche die schwingenden Luftsäulen umgeben, entweder bei allen starre Körper sind, oder, falls sie Membranen sind, einerlei Spannung haben (vgl. § 31.).

Zur Bestätigung jenes Gesetzes dient die Beobachtung, dass die Luftsäule einer engen, ganz offenen Röhre in 1 Secunde so viele Schwingungen macht, als ihre Länge in dem Raume, den die Schallwelle in 1 Secunde durchläuft, enthalten ist; die Luftsäule einer gedeckten Röhre aber, die ihren Grundton gibt, in 1 Secunde halb so viele

4) *Savart* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 320 f. — *Baumgartner* S. 251.

Schwingungen macht. Indem man diesen Satz auch unmittelbar auf enge Labialpfeifen anwendet, lässt man den Einfluss der Mündung unberücksichtigt ([5]).

Noch bleiben 2 Punkte zu erwähnen:

1) die *Abweichung der dem Tone entsprechenden Länge von der Länge der Röhre*, oder, wie Biot ([6]) dafür sagt, die Abweichung, dass der Ton der Röhre immer etwas tiefer ist, als er nach der Theorie sein sollte. Man darf wohl zur Erklärung dieses Umstandes mit Chladni ([7]) annehmen, dass die schwingende Luftsäule noch über die Röhre etwas hinausreicht. Über den Einfluss der Convergenz und Divergenz der Öffnung hierauf s. unter 5.

2) das *Verfahren, die Länge der Luftsäulen, die in ganz offenen Röhren schwingen, zu messen.* Hierzu hat der berühmte Mathematiker Daniel Bernoulli ein sehr sinnreiches, anscheinend einer grossen Genauigkeit fähiges Verfahren angegeben, welches darin besteht, dass man in die tönende Röhre einen graduirten Stempel so weit hineinschiebt, bis sie (als eine nunmehr gedeckte) denselben Ton gibt, welchen sie offen gab. Der Abstand der Vorderfläche des Stempels von der Mündung der Röhre wird als Länge der Luftsäule genommen, die, bei offener Mündung in der an einem Ende verschlossenen und mit dem Tone der ganz offenen Pfeife in Einklang stehenden Röhre schwingen würde ([8]). Dulong ([9]) ist indess, seinen Beobachtungen zufolge, sehr zu glauben geneigt, dass die Knotenflächen, welche sich bei der offenen Pfeife bilden, nicht dieselbe Gestalt und örtliche Lage haben,

---

5) *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 418. — *Fechner*: Repert. I. S. 318. — *Biot* II. S. 16. 6) Bd. II. S. 88. 94. 7) Akust. S. 87. 8) *Dulong* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 458. — *Biot* II. S. 94. 9) A. a. O. S. 465.

wie dann, wenn man nach Einschiebung des Stempels den nämlichen Ton mit der Pfeife erhält.

Anmerkung 1. Die Ansicht Biot's (II. S. 95.), dass, wenn man eine und dieselbe Pfeife nach einander mit verschiedenen elastisch flüssigen Körpern zum Tönen bringt, die schwingenden Säulen nicht die nämliche Länge haben, hat Dulong nicht bestätigt gefunden, s. Poggendorff's Annal. Bd. 16. (92.) S. 466 ff.

Anmerkung 2. Nach einem der oben angeführten Sätze findet man die absolute Zahl der Schwingungen einer Luftsäule, die in einer ganz offenen Röhre schwingt, wenn man den Raum, welchen eine Schallwelle in 1 Secunde durchläuft, durch die Länge der Luftsäule dividirt. Die Resultate dieser Rechnung werden aber etwas verschieden sein, jenachdem man der einen oder der andern Bestimmung jenes Raumes folgt. W. Weber gibt (in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 321.) »etwa 1024 Fuss« als Länge dieses Raumes an, anderwärts (in Poggendorff's Annal. Bd. 16. (92.) S. 203.) 1052 Fuss (bei 22° R.); Biot (II. S. 11. 16.) 1026 Par. Fuss (bei Frostkälte); nach Gilbert's Annal. Bd. 42. (Neue Folge Bd. 12.) S. 158. 161. beträgt die Schallgeschwindigkeit 1027 Fuss in 1 Secunde in der Luft; Baumgartner (S. 237.) gibt 1050 Fuss an, eben so v. Baer (Anthropologie Bd. I. S. 276 f.).

ββ) *Einfluss des Verhältnisses der Länge zur Breite oder Dicke.*

Man unterscheidet hier gewöhnlich nur 2 Arten des Verhältnisses (10).

1) Die Länge ist weniger als 6 Mal grösser als die Breite.

2) Sie ist mehr als 6 Mal grösser als die Breite. Diesem im Allgemeinen folgend, bringen wir die hier möglichen Verhältnisse unter folgende 2 Classen:

a) Die *Luftsäule ist im Verhältniss zu ihrer Länge beträchtlich dick*, oder das Verhältniss der Länge

---

10) S. *Baumgartner* S. 251. 253. — *Savart* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 325.

zur Dicke liegt zwischen 1 : 1 und 6 : 1, die beiden Grenzverhältnisse mit inbegriffen.

Das Verhältniss 1 : 1 findet Statt bei *kubischen* und *kugelförmigen Pfeifen.*

aa) *Kubisch gestaltete Pfeifen*, auf die bei Orgeln gebräuchliche Art zum Tönen gebracht, geben, nach Savart ([11]), äusserst reine Töne von sehr schönem Klange (timbre), und sprechen ihren Grundton mit überraschender Leichtigkeit und Schnelligkeit an; einen Flageoletton aber aus ihnen zu erhalten, ist fast unmöglich. Die Kuben der Schwingungszahlen ihrer Grundtöne verhalten sich umgekehrt wie die Luftmassen. Dieses Gesetz gilt für grosse und kleine Pfeifen dieser Form.

bb) *Kugeln* geben so dumpfe Töne, dass sie fast bloss ein Geräusch zu nennen sind. Aus einer Kugel mit kleiner Öffnung erhielt Savart ([12]) $\underline{C}$, $\bar{c}$, $\bar{g}$, $\bar{\bar{c}}$. Einen Flageoletton zwischen C und $\bar{c}$ hervorzubringen, war nicht möglich. Das bei aa. erwähnte Gesetz gilt auch bei kugelförmigen Pfeifen, wenn die Öffnung bei allen eine gleiche Zahl von Graden umfasst.

Bei prismatischen Pfeifen, deren Länge grösser als die Breite ist, aber dieselbe nicht über 6 Mal übersteigt, bei denen also die beiden Dimensionen zwischen den Verhältnissen 1 : 1 und 6 : 1 (mit Ausschluss des ersten Grenzverhältnisses) stehen, können sich, nach Savart's ([13]) Untersuchungen, Länge und Breite nicht ändern, ohne zugleich auch den Ton der Luftsäule zu erhöhen oder zu vertiefen, ausgenommen, wenn in solchem Verhältnisse die

---

11) A. a. O. S. 326 ff. 12) Ebend. S. 327. 329. 13) Ebend. S. 324 f.

eine zu-, die andere abnimmt, dass ihr Flächenraum gleich bleibt. Alsdann bemerkt man keine Änderung des Tones. Wenn man solche prismatische Orgelpfeifen, die einen und denselben Ton geben, weil das Produkt ihrer Länge und Breite bei allen gleich ist, mit andern prismatischen Orgelpfeifen, die wieder Einen, aber von den vorigen verschiedenen Ton geben, indem das Produkt ihrer Länge und Breite auch bei ihnen allen gleich ist, vergleicht, so findet man, dass die Schwingungszahlen beider Töne sich fast umgekehrt wie die Quadratwurzeln jener Produkte verhalten. Es geben z. B. alle prismatische Orgelpfeifen, deren Breite wenigstens $\frac{1}{6}$ der Länge beträgt, wenn das Produkt ihrer Länge und Breite 1296 Quadratlinien ist, den Ton $\overline{\text{ges}}$; wenn das Produkt ihrer Länge und Breite aber 5184 Quadratlinien ist, den Ton ges. Die Quadratwurzeln aus 1296 und 5184 sind 36 und 72, und verhalten sich folglich wie 1 zu 2. Die Schwingungszahlen der Töne $\overline{\text{ges}}$ und ges aber verhalten sich wie 2 zu 1. Die Quadrate der Schwingungszahlen der Grundtöne aller prismatischen Orgelpfeifen, deren Breite wenigstens $\frac{1}{6}$ der Länge ist, und deren offene Spalte quer über die ganze Dicke der Orgelpfeife sich erstreckt, verhalten sich also umgekehrt wie die auf der Spalte senkrecht stehenden Flächen der Orgelpfeifen. Dieses Gesetz gilt für offene Orgelpfeifen eben sowohl als für gedeckte.

Man kann als Regel annehmen, dass eine im Verhältniss ihrer Länge ziemlich weite Röhre ihre tiefern Töne leicht, die höhern ungern oder gar nicht anspricht. Darum spricht z. B. auf der *Flöte*, deren Röhre im Verhältniss ihrer geringen Länge ziemlich weit ist, bei dem Griff $\overline{\text{d}}$ schon der Flageoletton $\overline{\overline{\text{d}}}$ nicht völlig leicht und gut an, die fol-

genden Flageolettöne $\bar{a}$, $\bar{\bar{d}}$ u. s. w. grösstentheils noch übler, und der nach $\bar{\bar{a}}$ folgende höhere Flageoletton $\bar{\bar{\bar{c}}}$ will vollends gar nicht mehr heraus ([14]).

b) *Die Luftsäule ist im Verhältniss zu ihrer Länge beträchtlich dünn*, oder das Verhältniss der Länge zur Dicke ist grösser als 6 : 1.

Bei diesem Verhältniss beider Dimensionen sinkt der Ton, wenn die Röhre verlängert wird. Wird die Breite kleiner als der zwölfte Theil der Länge, so wird, nach Savart ([15]), der Einfluss, den die ungleichförmige Erschütterung der in einem Querschnitte liegenden Lufttheilchen hat (vgl. oben *αα.* 3.), schon unmerklich, und es gilt folglich näherungsweise Bernoulli's Gesetz, dass die Schwingungen der Grundtöne für einen bestimmten Zeitraum sich umgekehrt wie die Längen der Pfeifen verhalten.

Man kann als Regel annehmen, dass eine im Verhältniss ihrer Länge ziemlich enge Röhre ihre höhern Flageolettöne leicht, die tiefern derselben und ihren Grundton aber ungern oder gar nicht anspricht, weil sich bei diesem Dimensionsverhältnisse die Luftsäule leicht in aliquote Theile eintheilt ([16]). Daher spricht der allertiefste Ton des *Horns* und der *Trompete*, der eigentliche Grundton, den diese Instrumente, der Länge ihrer Röhren gemäss, angeben sollten, gar nicht an, weil ihre Röhren im Verhältniss ihrer bedeutenden Länge, sehr eng sind. Ihr eigentlicher Tonumfang beginnt erst bei demjenigen Tone, welcher als erster Flageoletton auf den eigentlichen ersten oder Grundton dieser Instrumente folgt ([17]).

---

14) *G. Weber* A. Beitöne, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. VIII. S. 382. 15) A. a. O. S. 325. *Baumgartner* stellt S. 251. bei diesem Verhältniss beider Dimensionen für Flötenwerkpfeifen und Blasinstrumente, welche diesen ähnlich sind und feste Wände haben, als Regel auf, dass ihre Tonhöhe bloss von der *Länge* der schwingenden Luftsäule abhange und ihr verkehrt proportionirt sei, wenn die Erschütterung an der ganzen Mündung erfolge. 16) *Chladni* S. 85. 93. — *Biot* II. S. 87. — *Dulong* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 464. 17) *G. Weber* A. Beitöne, a. a. O. S. 382. Der

Da die Orgelpfeifen bloss einen einzigen Ton, den tiefsten von denen, die ihnen vermöge ihrer Länge zukommen, geben sollen, so wählen die Orgelbauer solche Dimensionen, welche die Erfahrung als die zweckmässigsten hat kennen gelehrt, diesen Ton voll und standhaft zu geben, so dass die Pfeife nur sehr schwer auf einen andern Ton überzuspringen vermag ([18]).

Anmerkung. Von der eben genannten *Eintönigkeit der Orgelpfeifen* macht das Orgelregister, welches *Quintatön* heisst, nur eine uneigentliche, halbe Ausnahme. Es führt diesen Namen, weil es neben dem Grundtone auch die Quinte schwach mit hören lässt. Diese mitklingende Quinte sucht man dadurch zu erreichen, dass man an beiden Seiten des Labiums schwache Metallstreifen, welche man Bärte zu nennen pflegt, anbringt. S. Naue A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. V. S. 176 f.

β) Einfluss der *momentanen Länge.*

Diese wird bei gewissen Blasinstrumenten auf zweierlei Art bewirkt:

αα) durch das sogenannte *Verschieben der Röhre*;

ββ) durch die sogenannten *Tonlöcher.*

αα) Wirkung des *Verschiebens der Röhre.*

Die Röhre eines Blasinstruments, wo dieses Mittel zur Veränderung des Tones angewandt werden soll, ist so eingerichtet, dass sie sich, ungefähr wie ein Taschenperspectiv, durch Ineinanderschieben und wieder Auseinanderziehen augenblicklich verkürzen und verlängern lässt. Allgemein üblich ist diese Einrichtung bei der *Posaune*, wodurch

---

tiefste Ton, welchen diese beiden Instrumente wirklich gehörig hervorbringen und womit folglich ihr wahrer Tonumfang beginnt, ist c. Das um eine Octave tiefere C, welches der eigentliche Grundton der Röhre ist, spricht so gut wie gar nicht mehr an, sondern erscheint bloss wie ein unvernehmlicher, gleichsam flatternder Hauch, weshalb es auch den Namen Flatter-C oder Flotho-C erhalten hat.

18) *Biot* II. S. 86. — Vgl. auch die Versuche *Savart's* in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 421 ff., woraus ich hier nur anführe, dass eine an einem Ende verschlossene Orgelpfeife viel länger ist, als eine weite, gleichfalls an einem Ende verschlossene Röhre, welche denselben Ton gibt. Der Unterschied ist um so bedeutender, je grösser der Durchmesser der Röhre im Verhältnisse zu ihrer Länge ist.

dieselbe in den Stand gesetzt ist, eine ununterbrochene chromatische Tonreihe, ohne irgend eine Lücke und mit völlig gleicher Klangstärke anzugeben. Neuerlich hat man, wiewohl in weit beschränkterem Maasse, eine solche Vorrichtung auch am Waldhorne angebracht ([19]).

ββ) Wirkung der *Tonlöcher.*

Wird in einer cylindrischen oder prismatischen Röhre zwischen dem Ende, an welchem die Tonerregung geschieht, und der entgegensetzten Öffnung ein Loch gebohrt, welches eben so weit ist als die Röhre selbst, so gibt die Luftsäule, wenn die Röhre am ersteren Ende wieder auf dieselbe Weise angeblasen wird, denselben Ton, wie eine übrigens gleiche und auf gleiche Weise angeblasene Röhre gibt, deren Länge der des Zwischenraums zwischen dem angeblasenen Ende und dem hineingebohrten Loche gleich ist. Hier ist demnach der Ton in eben dem Verhältnisse erhöht, in welchem die Länge der Luftsäule vermindert ist. Denn bei der angegebenen Weite jenes Loches ist jetzt dieses, so lange es offen steht, das wahre Ende der tönenden Luftsäule, und der Ton ändert sich nicht, wenn der Theil der Röhre jenseits des Loches ganz abgeschnitten wird. Eine mit einem solchen Loche versehene Röhre vertritt die Stelle zweier Röhren, deren eine ihrer Totallänge, die andere aber der Länge des Zwischenraums zwischen dem angeblasenen Ende und dem Loche gleicht. Die Stelle der letztern vertritt sie dann, wenn das Loch offen; die Stelle der erstern, wenn es bedeckt und dadurch seine Wirkung aufgehoben ist. Bei beiden Längen kann sie die einfachste Schwingungsart annehmen, deren eine Luftsäule in einer ganz offenen Röhre fähig ist, nämlich mit Einer Knotenfläche schwingen, folglich zweierlei Grundtöne hervorbringen.

---

19) *G. Weber* A. Blasinstrumente, a. a. O. S. 329.

Statt Eines solchen Loches lassen sich mehrere der Art anbringen, so dass auf diese Weise eine und dieselbe Röhre die Stelle von 3, 4, 5 u. s. w. Röhren vertreten kann, deren je eine der Länge des Zwischenraums zwischen dem angeblasenen Ende und einem gewissen *allein offen* stehenden Loche (während wenigstens etwa noch vorhandene, diesseit desselben angebrachte bedeckt sind) gleich ist. Wie viele Röhren auf solche Weise eine einzige Röhre vertritt, eben so vieler Grundtöne ist sie fähig. Demnach kann eine Röhre mit 11 solchen Löchern 12 Grundtöne hervorbringen.

Wenden wir diese auf das oben angegebene Verhältniss der Töne zu den Längen der Luftsäulen basirte Theorie auf die Blasinstrumente an, welche von Tonlöchern Gebrauch machen, so werden mehrfache Modificationen nöthig

1) deshalb schon, weil das obige Gesetz des Einflusses der Länge zunächst sich auf *selbstständig schwingende* Luftsäulen bezieht, wie sie nur in den Flötenwerken erscheinen, während die meisten Blasinstrumente mit Tonlöchern zu den Zungenwerken gehören, nämlich die Clarinette, die Hoboe, das Fagott, die Klappentrompete, das Serpent u. s. w., wie § 27. gezeigt ist, so dass in ihnen die Luftsäule *nicht selbstständig* schwingt und den Ton bestimmt;

2) deshalb, weil die Tonlöcher dieser Instrumente nicht die Weite des Instruments haben, sondern enger sind. Daher kann auch ihre Wirkung nicht dieselbe sein, vielmehr behält das jenseit des offenen Loches befindliche Stück der Röhre noch fortwährenden Einfluss auf die diesseit desselben schwingende Luftsäule, und wirkt ungefähr auf ähnliche Art, wie die die Öffnung des einen Endes verengende Hand (das Stopfen). Er ist folglich tiefer als er nach Maassgabe der Länge des

Zwischenraums zwischen dem angeblasenen Ende und dem Tonloche sein sollte.

Ausführlicheres über die Wirkungen und zugleich über die zweckmässigste Einrichtung der Tonlöcher bei Blasinstrumenten ist von G. Weber (20), und ihre Theorie bei der Flöte auch von Pellisov (21) bekannt gemacht.

Anmerkung. G. Weber hat vorgeschlagen, zur Kostenersparniss auch die Orgelpfeifen so einzurichten, dass sie mehr als Einen Ton hervorbrächten. Dieses kann aber bei der wesentlichen Verschiedenheit der beiden Classen derselben, der *Labialpfeifen* und der *Zungenpfeifen*, nicht auf einerlei Weise erreicht werden. Bei den erstern würde man ähnlich wie bei jenen Blasinstrumenten durch Löcher in den Seitenwänden, welche man mittelst Klappen decken und öffnen könnte, oder durch theilweise Öffnung des Endes, oder auch durch mehrmals gekröpfte Pfeifen, wo eine Seitenwand geöffnet wird, den Zweck wohl erreichen. (Mit dem Namen *gekröpfte Pfeifen* bezeichnen die Orgelbauer solche, bei denen sie wegen Mangels an der nöthigen Höhe zur Stellung der längsten Pfeifen sich genöthigt gesehen, einen Theil ihrer Länge in horizontaler Richtung anzusetzen.) Bei den Zungenpfeifen würde es vielleicht dadurch bewirkt werden können, dass man mehr als Eine Zunge an derselben Pfeife anbrächte. S. G. Weber's Aufs. in d. Leipziger allgem. musikal. Zeitung v. J. 1816. Nr. 3. § 3. Nr. 4. § 31. 32. und Nr. 45. S. 767 ff. Vgl. Chladni's darauf sich beziehenden Aufs. in d. Cäcilia Bd. V. S. 41 ff.

cc) *Einfluss der Länge auf die Tonhöhe der Stäbe.*

Wir unterscheiden auch hier wie oben die beiden Classen: *gerade* und *krumme.*

α) Ihr Einfluss bei *geraden Stäben.*

$\alpha\alpha$) Bei *longitudinal schwingenden* Stäben verhalten sich bei einerlei Schwingungsart die Töne mehrerer aus einerlei Materie bestehender Stäbe umgekehrt wie

20) *G. Weber* A. Blasinstrumente, a. a. O. S. 329 ff., und in Bezug auf Clarinette und Bassetthorn, in der Cäcilia Bd. XI. S. 35 ff. 21) In s. Berichtig. eines Fundamentals. d. Akust. S. 36 ff., und in s. Theorie gedeckter cylindrischer und konischer Pfeifen und der Querflöten S. 15 ff.

deren Längen; auf die Dicke derselben kommt hierbei nichts an ([22]).

ββ) Bei *drehend schwingenden* Stäben steht bei einerlei Schwingungsart die Zahl der Schwingungen, also auch die Tonhöhe, gleichfalls im umgekehrten Verhältnisse ihrer Länge, und ist unabhängig von der Dicke, wenn der Stab cylindrisch oder parallelepipedisch von quadratischem Querschnitt ist. Sind dagegen Dicke und Breite des parallelepipedischen Stabes verschieden, so hängt die Schwingungszahl auch von diesen Dimensionen mit ab (s. unten) ([23]).

γγ) Bei *transversal schwingenden* Stäben verhalten sich die Töne bei einerlei Schwingungsart und übrigens gleichen Umständen umgekehrt wie die Quadrate der Längen, so dass z. B. ein Stab, der einem andern übrigens gleich, aber noch einmal so lang ist als dieser, bei einerlei Schwingungsart Töne gibt, die um 2 Octaven tiefer sind. Dieses gilt sowohl bei cylindrischen als bei parallelepipedischen Stäben ([24]).

β) Ihr Einfluss bei *krummen Stäben.*

Die Tonhöhe eines an beiden Enden freien, kreisförmig gebogenen, longitudinal (d. h. nach der Richtung der Krümmung) schwingenden Stabes steht im umgekehrten Verhältniss seiner Länge, wofern die Anzahl der Grade, die der Bogen desselben unterspannt, gleich bleibt. Wenn man dagegen einen elastischen Stab von gleichbleibender Länge mehr oder minder krümmt, so dass er successiv die Gestalt von $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1 ganzen Umkreis annimmt, so ändern sich seine Töne auf die § 21. angegebene Weise ([25]).

---

22) *Chladni* S. 107. — *Biot* II. S. 57. 23) *Fechner*: Repert. I. S. 278. 24) *Chladni* S. 101., vgl. Beytr. z. prakt. Akust. S. 57. — *Biot* II. S. 55. — *Fechner* a. a. O. S. 272. — *Baumgartner* S. 229. 25) *Fechner* a. a. O. S. 268.

dd) *Einfluss der Länge auf die Tonhöhe der Membranen.*

Die Tonhöhe einer *transversal schwingenden* rechteckigen Membran verhält sich direct wie die Quadratwurzel des spannenden Gewichts, umgekehrt wie die Quadratwurzel ihres eignen (relativen) Gewichts, und bleibt constant, wie auch die Grösse der Oberfläche und Dicke sich ändern möge, so lange das Gewicht constant bleibt. Wenn sich beide Dimensionen der rechteckigen Membran in gleichem Verhältnisse ändern, so ändert sich die Tonhöhe im umgekehrten Verhältnisse hiervon, so dass, wenn z. B. eine rechteckige Membran 3 Mal so lang und 3 Mal so breit als vorher wird, ihre Tonhöhe auf das Drittel der frühern herabkommt. Das Verhältniss ihrer Tonfolge und die Art, wie sie sich durch Knotenlinien abtheilt, bleibt aber dadurch ungeändert. Bei gleicher Grösse hat eine rechteckige Membran dann den höchsten Grundton, wenn ihre beiden Dimensionen einander gleich sind, wenn sie mithin quadratisch ist. Hat man eine Reihe rechteckiger Membranen von der constanten Breite 1, deren Längen respectiv sind

$$1, 2, 3, 4, 5, 6, \ldots\ldots n,$$

so werden sich ihre Grundtöne respectiv zu einander verhalten wie die Quadratwurzeln folgender Zahlen:

$$\frac{2}{1}, \frac{5}{4}, \frac{10}{9}, \frac{17}{16}, \frac{26}{25}, \frac{37}{36} \ldots\ldots \frac{n^2+1}{n^2}.$$

Allgemein verhält sich der Grundton einer rechteckigen Membran wie die Quadratwurzel aus dem Quotienten, welchen man erhält, wenn man die Summe der Quadrate von Breite und Länge mit dem Produkte dieser Quadrate dividirt. Wenn eine rechteckige Membran sehr viel länger als breit ist, so ist ihre Tonhöhe unabhängig von der Breite, steht im umgekehrten Verhältniss der Länge, und

ihre Tonhöhe folgt der Reihe der natürlichen Zahlen von 1 an (26).

cc) *Einfluss der Länge oder des Durchmessers auf die Tonhöhe starrer Flächen.*

Wir unterscheiden hier, wie oben, *gerade* und *krumme.*

α) Ihr Einfluss bei *geraden Flächen.*

αα) Bei einer *longitudinal schwingenden* kreisrunden Scheibe, deren Elasticität nach allen Richtungen gleich ist, steht die Zahl der Schwingungen im umgekehrten Verhältnisse ihres Radius und ist unabhängig von ihrer Dicke (27).

ββ) Bei den *transversal schwingenden* Scheiben unterscheiden wir *gerad-* und *krummlinige.*

a) Bei *geradlinigen rechteckigen* Scheiben kommt sowohl die Länge an sich als auch ihr Verhältniss zur Breite in Betracht. Der Einfluss der hierbei von Chladni untersuchten verschiedenen Verhältnisse ist bereits § 24. gezeigt und besonders in der bei den länglichen Rechtecken S. 331. aufgestellten Tabelle leicht zu übersehen. Bei länglichen Rechtecken stehen bei gewissen Schwingungsarten die Schwingungszahlen im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate der Längen, bei gewissen andern im umgekehrten Verhältnisse sowohl der Länge als der Breite, oder überhaupt im umgekehrten Verhältnisse des Flächeninhalts der Scheiben (28). Bei den die *Zungen* der Rohrwerke bildenden Platten, welche die Gestalt von länglichen Rechtecken zu haben pflegen, ist die Zahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit dem Quadrate ihrer Länge umgekehrt proportional (29).

---

26) *Fechner:* Repert. I. S. 283 f. 27) Ebend. S. 281. 28) *Chladni* S. 127.
29) *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 418.

b) Bei *krummlinigen* Scheiben verhalten sich, wenn sie *kreisrund* sind, die Schwingungszahlen und Töne, bei gleicher Dicke und Materie und bei einerlei Schwingungsart, umgekehrt wie die Quadrate der Durchmesser (30). — Nach Poisson (31) ist das Produkt aus der Schwingungszahl des transversalen Grundtons einer am Rande freien kreisrunden dünnen Scheibe in den Radius der Scheibe gleich dem Produkte aus der Schwingungszahl des longitudinalen Grundtons eines an beiden Enden freien, cylindrischen Stabes, dessen Länge gleich dem Durchmesser der Scheibe ist, in den 1,6873-fachen Durchmesser des Stabes. — Ist die Scheibe *elliptisch* gestaltet, so kommt das Verhältniss der beiden Durchmesser in Betracht. Hierüber sind bereits § 24. die Resultate Chladni's mitgetheilt, und in der dort S. 373. gegebenen Tabelle der Schwingungsarten elliptischer Scheiben der Einfluss der verschiedenen Verhältnisse dieser beiden Durchmesser anschaulich gemacht.

β) Ihr Einfluss bei *krummen Flächen.*

Bei *Glocken* nimmt bei Verschiedenheit der Grösse die Tiefe im Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser zu (32). — Bei an der Oberfläche freien, nach allen Richtungen gleich elastischen, *Kugeln*, deren Schwingungen als in der Richtung der Radien der Kugel vor sich gehend angenommen werden, in der Art, dass der Bewegungszustand der Kugeln in gleichen Entfernungen vom Mittelpunkte überall gleich sei, steht nach Poisson (33) die Tonhöhe im umgekehrten Verhältnisse ihrer Radien.

---

30) *Chladni* S. 124. — *Savart* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 10. (86.) S. 259. und in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 314.

31) In den Mémoires de l'Académie Tome VIII. p. 566. S. *Fechner*: Repert. I. S. 286.

32) *Chladni* S. 198.

33) A. a. O. p. 419. S. *Fechner* ebend. S. 287.

b) *Einfluss der Breite der schwingenden Körper auf ihre Tonhöhe.*

aa) *Ihr Einfluss bei Luftsäulen.*

Dieser ist bereits oben bei der Länge angegeben.

bb) *Ihr Einfluss bei Stäben.*

α) Bei einem *drehend schwingenden* parallelepipedischen Stabe bleibt, nach Cauchy (34), die Zahl seiner drehenden Schwingungen dieselbe, wenn Breite und Dicke in gleichem Verhältnisse zu- oder abnehmen, auch wenn er nach diesen beiden Dimensionen eine ungleiche Elasticität besitzt. Wenn die Dicke des parallelepipedischen Stabes sehr klein gegen die Breite ist, so steht die Tonhöhe im geraden Verhältniss der Dicke, im umgekehrten der Breite; sowohl wenn der Stab nach allen Richtungen gleich elastisch, als auch wenn er es nicht ist. Wenn ein solcher Stab nach allen Richtungen gleich elastisch ist, so steht seine Tonhöhe allgemein im geraden Verhältniss des Quotienten, welchen man erhält, wenn man das Produkt aus der Breite in die Dicke durch die Summe der Quadrate der Breite und Dicke dividirt.

β) Bei *transversal schwingenden* Stäben trägt die Breite nichts oder fast gar nichts zur Bestimmung der Töne bei; wohl aber wird an einem breitern Stabe der Klang stärker sein können, als an einem schmälern (35).

Anmerkung. Die Breite und Dicke der Stäbe hat Einfluss auf die Interferenz der Schallstrahlen. S. hierüber W. Weber's Abh. in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 385 ff., s. namentlich S. 423 ff.

cc) *Ihr Einfluss bei Membranen* und *Scheiben*

ist bereits bei der Länge erwähnt.

---

34) In s. Exerc. IV. p. 47. oder in d. Mém. de l'Acad. T. IX. p. 119. S. *Fechner* a. a. O. S. 278 f.

35) *Chladni* S. 101 f. — *Biot* II. S. 55.

c) *Einfluss der Dicke der schwingenden Körper auf ihre Tonhöhe.*

aa) *Ihr Einfluss bei Saiten.*

α) Bei *longitudinal schwingenden* Saiten ist die Tonhöhe unabhängig von ihrer Dicke ([36]).

β) Bei *transversal schwingenden* Saiten verhalten sich bei einerlei Länge, Spannung und Schwingungsart die Töne umgekehrt wie die Dicke der Saiten, so dass, wenn z. B. eine Saite 2 Mal so dick als eine andere ist, die Töne der dickern um eine Octave tiefer als die der letztern sind ([37]).

bb) *Ihr Einfluss bei Luftsäulen.*

Im Allgemeinen ist hiervon schon oben bei der Länge der Luftsäulen geredet worden. Es bleibt hier noch ein wichtiges Resultat der Untersuchungen Savart's ([38]) zu erwähnen, dass nämlich *in einer weiten Orgelpfeife* nicht alle Theile der Luftmasse zur Hervorbringung des Tones beitragen, sondern dass man *unbeschadet des Tones gewisse Theile der Luftmasse, vorzüglich in der Nähe der Ecken und Winkel abschneiden, und durch feste Wände von der übrigen Luft trennen kann.* Indem er nun die Gestalt der Luftmasse auszumitteln suchte, welche übrig bleibt, wenn man alle für die Hervorbringung des Tones unwesentliche Theile abgesondert hat, fand er, dass in einer prismatischen Röhre, deren Spalte die ganze Länge einer Seite der Basis einnimmt und welche ihren Grundton gibt, die nach Absonderung jener Theile übrig bleibende schwingende Luftmasse die Gestalt eines Cylinders hat, dessen Basis am meisten einer Ellipse gleicht. Die Axe dieses Cylinders ist der Öffnung des Mundstücks parallel. Diese

---

36) *Fechner*: Repert. I. S. 268. — *Biot* II. S. 57. 37) *Chladni* S. 71. — *Fechner* a. a. O. S. 272. 38) S. *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 292. 322 f. 328 f.

Gestalt der eigentlich schwingenden Luftmasse scheint bei allen prismatisch quadratischen Luftsäulen Statt zu finden, wenn sie ihren Grundton geben. Man kann daher eine prismatische Röhre durch Näherung der Seitenwände, zugleich mit der Spalte, beliebig verengern, ohne dass ihr Ton im Geringsten höher oder tiefer wird ([39]). Desgleichen kann man auch die beiden Seitenwände beliebig weit von einander entfernen, und der Ton bleibt ungeändert, wenn die Spalte mit der Dicke zugleich wächst. — Bei kubischen Röhren berührt die elliptische Basis der auch hier cylindrisch gestalteten schwingenden Luftmasse die Seitenwände, welche senkrecht auf der Spalte des Mundstücks stehen.

cc) *Einfluss der Dicke bei Stäben.*

α) Bei *longitudinal schwingenden* Stäben ist die Tonhöhe unabhängig von der Dicke ([40]).

β) Die Zahl der *drehenden Schwingungen* eines cylindrischen oder parallelepipedischen Stabes von quadratischem Querschnitt ist unabhängig von der Dicke des Stabes und steht im umgekehrten Verhältniss seiner Länge, mag der Stab nach allen Richtungen gleich elastisch sein oder nicht ([41]). Sind dagegen Dicke und Breite des parallelepipedischen Stabes verschieden, so gelten für die Dicke die oben bei der Breite zugleich erwähnten Verhältnisse.

---

39) Er folgert hieraus für den Orgelbau, dass man ohne Änderung des Tones viel Raum dadurch ersparen könne, dass man die Pfeife zugleich mit ihrer Spalte enger mache; denn nähere man die beiden Seitenwände einer quadratisch prismatischen Röhre um die Hälfte oder selbst um 2 Drittel, so lasse sich noch keine merkliche Schwächung des Tones beobachten. — *Chladni* sagt S. 90.: »Die Weite der Pfeife trägt nichts zur Bestimmung der Töne bei; es ist aber eine weitere Pfeife mehrerer Stärke des Klanges fähig, als eine engere.«

40) *Fechner* a. a. O. S. 268. — *Biot* II. S. 57. — *Chladni* sagt dieses gleichfalls S. 107.; S. 109. aber fügt er eine Beschränkung hinzu: »Auf die Dicke kommt gar nichts an, ausser dass, wenn der Stab nach einem Ende zu merklich dicker ist, dieses eine kleine Veränderung des Tones verursachen kann.«

41) *Fechner* a. a. O. S. 278. Vgl. *Biot* II. S. 60.

γ) Bei *transversal schwingenden* cylindrischen und parallelepipedischen Stäben von einerlei Materie und von einerlei Schwingungsarten stehen die Töne im geraden Verhältniss der Dicke, so dass z. B. ein Stab, der noch einmal so dick als der andere ist, bei übrigens gleichen Umständen, Töne gibt, die um eine Octave höher sind als die des letztern ([42]). Dieses rührt, nach Biot ([43]), daher, dass die Spannkraft mit der Dicke schneller als die Masse zunimmt, wodurch die Schwingungen beschleunigt werden. In Stäben von demselben Stoffe und ähnlicher Gestalt, die sich mithin in der Dicke zu einander eben so wie in der Länge verhalten, stehen die Zahlen, welche die Töne ausdrücken, im umgekehrten Verhältniss der homologen Dimensionen, mithin im umgekehrten Verhältniss der Kubikwurzeln der Gewichte, indem sich hier die Gewichte wie die Kuben der Dimensionen verhalten. — Ungleichheiten der Dicke haben Einfluss auf den Ton und auf die Lage der Knotenlinien ([44]).

Anmerkung. Grossen Einfluss hat die Dicke eines Körpers bei der Verbreitung seines Schalles auf die *Weite der Hörbarkeit* desselben. Dieses beruht, wie W. Weber gezeigt hat, auf der Interferenz der Schallstrahlen. Je dünner nämlich der schwingende Stab ist, desto näher liegen einander die beiden Flächen, von welchen die entgegengesetzten Wellenzüge ausgehen, desto mehr müssen daher auch beide sich gegenseitig aufheben. Es nimmt deshalb mit der zunehmenden Dünnheit des schwingenden Stabes die Entfernung, in welcher man den Ton hören kann, immer mehr ab. Dünne Stäbe, die recht

---

42) *Chladni* S. 101., vgl. s. Beytr. z. prakt. Akust. S. 57 f. — *Poisson*: traité de mécanique Tome II. p. 386. — *Fechner*: Repert. I. S. 272.

43) Bd. II. S. 55. — Eine andere Ursache liegt der Beobachtung, dass ein Pendel von mehr Gewicht *in der Luft* schneller schwingt, als ein gleich langes leichteres, zum Grunde, nämlich die, dass bei diesem der Widerstand der Luft desto schwächer wirkt, je grösser das Gewicht desselben ist, und umgekehrt, s. *Gehler*: physikal. Wörterbuch Th. III. A. Pendel S. 431.

44) Über den Einfluss dieser Ungleichheit auf den Ton, s. *Poisson* in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 13. (89.) S. 403.; über ihren Einfluss auf die Lage der Knotenlinien s. *Strehlke* ebend. Bd. 27. (103.) S. 535 f.

tiefe Töne geben, und in einer Entfernung von ½ — 1 Zoll sehr stark und glockenartig tönen, werden in einer Entfernung von etwa 6 Zoll gar nicht mehr gehört. S. Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 429. Vgl. was § 21. S. 205. über die Interferenz der Schallstrahlen überhaupt gesagt ist, wodurch das hier kurz Angegebene verständlicher wird.

dd) *Einfluss der Dicke bei Membranen.*

Bei diesen hat eine Änderung der Dicke und der Grösse der Oberfläche keinen Einfluss auf die Tonhöhe, so lange das spannende Gewicht und ihr eigenes Gewicht constant bleibt. S. das oben bei der Länge Gesagte.

ee) *Einfluss der Dicke bei Scheiben.*

α) Bei *longitudinal schwingenden* Scheiben ist die Tonhöhe unabhängig von ihrer Dicke ([45]).

β) Bei *transversal schwingenden* Scheiben, die nach allen Richtungen gleich elastisch sind, steht die Schwingungszahl im geraden Verhältnisse der Dicke der Scheiben, so dass, wenn von 2 Scheiben von gleicher Materie und übrigens gleichen Dimensionen, die eine 2 Mal so dick als die andere ist, die Töne der erstern, bei gleichen Schwingungsarten beider, um eine Octave höher sein werden, als die der dünnern ([46]). Sehr wichtig ist für die Regelmässigkeit der Schwingungen und der sie versichtbarenden Klangfiguren die Gleichmässigkeit der Dicke. Ungleichmässigkeit derselben pflegt unregelmässige Schwingungen und verzerrte Klangfiguren zu bewirken ([47]). — Auch bei den *Glocken* sind

45) *Fechner* a. a. O. S. 281.

46) *Chladni* S. 124., vgl. auch s. N. Beytr. S. 14. 20 f. — *Biot* II. S. 70. — *Fechner* a. a. O. S. 285. — *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 418. — Nach *Poisson* (ebend. Bd. 13. (89.) S. 384.) ist das Moment der elastischen Kraft, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, proportional dem Kubus der Dicke. — Noch erwähne ich als Einfluss der Dicke, dass nach *Chladni* S. 184. namentlich bei elliptischen Scheiben von einer gewissen Grösse, wenn sie zugleich dünn sind, die tiefern Töne nur mit vieler Mühe sich hervorbringen lassen.

47) *Chladni*: N. Beytr. S. 4. 8. — *Baumgartner*: Supplbd. S. 371.

die Töne desto höher, je dicker die aus einerlei Materie bestehenden Glocken sind ([48]).

d) *Einfluss der gesammten Grösse und des (relativen) Gewichts* ([49]) *der Körper auf ihre Tonhöhe.*

Wenn alle Dimensionen eines beliebig gestalteten Körpers zugleich nach demselben Verhältnisse wachsen und abnehmen, so ändert sich die Schwingungszahl des Körpers nach dem umgekehrten Verhältnisse der Dimensionen, so dass, wenn z. B. ein parallelepipedischer Stab doppelt so lang, breit und dick als vorher wird, die Zahl seiner (transversalen, longitudinalen oder drehenden) Schwingungen auf die Hälfte der vorigen herabkommen wird. Dieses Gesetz erstreckt sich auch auf Körper, in denen die Elasticität verschieden nach verschiedenen Richtungen ist, so wie auf die Schwingungen einer in einem begrenzten Raume eingeschlossenen Luftmasse ([50]). — Schon oben S. 553. bei der Länge der Luftsäulen ist als Resultat der Untersuchungen Savart's erwähnt, dass, wenn man prismatische Orgelpfeifen, die einen und denselben Ton geben, weil das Produkt ihrer Länge und Breite bei allen gleich ist, mit andern prismatischen Orgelpfeifen, die wieder Einen, aber von dem der vorigen verschiedenen Ton geben, indem das Produkt ihrer Länge und Breite auch bei ihnen allen gleich ist, vergleicht, sich dann ergibt, dass die Schwingungszahlen beider Töne sich fast umgekehrt wie die Quadratwurzeln jener Produkte verhalten. — Bringt man, wie gleichfalls oben S. 552. angeführt wurde, kubisch gestaltete Pfeifen auf

---

48) *Chladni*: Akust. S. 198.

49) Der Ausdruck *relatives Gewicht* bezeichnet das, was man im gemeinen Leben *Schwere* nennt, indem »ein Körper wiegt 3 Pfund« und »er ist 3 Pfund schwer« hier gleichbedeutende Ausdrücke sind. Das Beiwort *relativ* soll die Verwechslung mit dem S. 91 ff. erwähnten *specifischen Gewichte* verhüten. Worauf sich die Benennung »*relatives Gewicht*« stütze, ist S. 89. gezeigt.

50) Dieses Gesetz hat *Cauchy* nachgewiesen in den Mém. de l'Acad. Tome IX. p. 116. Im Fall beschleunigende Kräfte, welche nicht vernachlässigt werden könnten, auf den Körper wirkten, würde dieses Gesetz nur unter der Voraussetzung gültig sein, dass diese dabei sich im umgekehrten Verhältnisse als die Dimensionen des Körpers ändern. S. *Fechner's* Repert. I. S. 266 f.

die bei Orgeln gebräuchliche Art zum Tönen, so verhalten sich die Kuben der Schwingungszahlen der Grundtöne umgekehrt wie die Luftmassen. Dieses Gesetz gilt für jede Reihe von Pfeifen, deren Dimensionen proportional zu- oder abnehmen, für prismatische, cylindrische und auch für kugelförmige Pfeifen, wenn die Öffnung bei allen eine gleiche Zahl Grade umfasst (51). — Vergleicht man Stäbe oder überhaupt steife Körper, die aus einerlei Materie bestehen, an Gestalt einander vollkommen ähnlich und nur an Grösse verschieden sind, so dass alle Dimensionen in einerlei Verhältnisse zu- oder abnehmen, so verhalten sich die Töne, bei einerlei Schwingungsart, umgekehrt wie die Kubikwurzeln ihrer relativen Gewichte (52). Eben dieses gilt auch von *Glocken* und *runden Gefässen* von einerlei Materie. Denn nehmen bei diesen alle Dimensionen in gleichem Verhältnisse zu oder ab, so verhalten sich die Töne umgekehrt wie die Kubikwurzeln der relativen Gewichte (53). — Über den Einfluss des Gewichts bei den Membranen vgl. was oben S. 560. bei der Länge über das eigene Gewicht derselben gesagt ist.

e) *Einfluss der Grösse der Öffnungen bei Orgelpfeifen und Blasinstrumenten.*

Hier sind dreierlei Öffnungen zu unterscheiden:

1) die, durch welche *geblasen* wird. Da bei den Orgelpfeifen das Ende, an welchem sich diese Öffnung befindet, unten steht, so wollen wir diese Öffnung hier überhaupt die *untere* nennen.

2) die, welche an dem entgegengesetzten Ende, parallel mit der Längenaxe, sich befindet. Wir nennen sie die *obere*.

3) die, welche an der Seitenwand sich befindet und nicht zum Anblasen dient. Wir nennen sie die *seitliche*.

---

51) *Savart* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 324. 326 f. 52) *Chladni* S. 102. 53) Ebend. S. 198.

aa) *Einfluss der Grösse der untern Öffnung.*

Bei den Orgelpfeifen pflegt man diese Öffnung die *Mündung* zu nennen; Savart bezeichnet sie mit dem allgemeinern Namen *Spalte*; bei der Flöte heisst sie *Mundloch* u. s. w. Die Grösse dieser Öffnung ist entweder *permanent* oder *momentan.*

1) Die Grösse der Öffnung ist *permanent.* Dieses ist bei den Orgelpfeifen der Fall. Forscht man hier nach dem Einflusse ihrer Grösse, so zeigen sich entgegengesetzte Erscheinungen.

α) Im Allgemeinen wird von Chladni (54) als Regel aufgestellt, dass der Ton desto höher sei, je kleiner die Öffnung sei. Nach Savart's (55) Versuchen, welche er mit Pfeifen gemacht, bei welchen die Wand, in der die Spalte ist, beweglich war, so dass die übrige Pfeife von ihr und dem Windcanale getrennt werden konnte, gibt jede Spalte für sich allein einen bestimmten Ton vorzüglich rein, und dieser Ton ist desto tiefer, je weiter unter sonst gleichen Umständen die Spalte ist. Die Materie und Länge der Spalte haben auf die Höhe dieses Tones gleichfalls Einfluss.

β) Als entgegengesetzte Wirkung erscheint folgende gleichfalls von Savart (56) gemachte Beobachtung. Bringt man eine prismatische Pfeife, die in der ganzen Länge einer Seite ihrer Grundfläche offen ist, zum Tönen, und verkleinert allmälig die Spalte, so wird der Ton tiefer, und bei Pfeifen, die fast kubisch gestaltet sind, kann diese Vertiefung eine Sexte oder selbst eine Septime betragen. Die Ursache dieser Vertiefung hat man wohl darin zu suchen, dass bei Verkleinerung der Spalte die Luftsäule

54) Akust. S. 81. 55) Im angef. Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 326. 56) Ebend. S. 325.

nicht mehr im ganzen Querschnitte der Röhre gleichmässig, sondern bloss theilweise erschüttert wird, wovon nach Bernoulli's ([57]) Untersuchungen eine Vertiefung des Tones die Folge ist, die um so beträchtlicher ist, je grösser der Durchmesser der Luftsäule im Vergleich mit ihrer Länge ist. Daher wird von Savart ([58]) die Regel gegeben, dass, wenn bei Erweiterung oder Verengerung einer prismatischen Pfeife der Ton ungeändert bleiben solle, die Spalte gleichmässig mit der Dicke wachsen oder abnehmen müsse.

Anmerkung. Auch die *Stelle, wo die Spalte angebracht ist*, hat Einfluss auf die Tonhöhe. Hat man eine prismatische, fast kubische, an beiden Enden verschlossene Pfeife, deren eine Seitenwand eine Spalte hat, und mit dieser verschoben werden kann, so wird der Ton der Pfeife, durch Verrückung der Spalte von einem Ende bis in die Mitte, fast um eine Tonstufe höher. Bei dünnern und längern Röhren kann dadurch ein Unterschied von einer Tertie, Quarte, Quinte u. s. w. hervorgebracht werden. S. Savart in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 327. vgl. S. 329.

2) Die Grösse der Öffnung ist *momentan*, d. h. sie wird beliebig durch die Lippen des Blasenden verengt oder erweitert, während die Öffnung am Blasinstrumente selbst eine constante Grösse haben kann. Dieses ist namentlich bei dem Mundloche der *Flöte* der Fall. Aber auch hier werden der Verengung desselben entgegengesetzte Wirkungen zugeschrieben.

α) Durch die theilweise Verdeckung des Mundlochs mit der Lippe wird bewirkt, dass die Flöte um eine halbe Stufe *tiefer* tönt, als bei ganz unverdecktem Mundloche geschehen würde ([59]). Es muss hierbei die

---

57) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 320 f.

58) Ebend. S. 324. 328. Vgl. das oben bei der Dicke der Luftsäulen Erwähnte.

59) S. *Wheatstone* im angef. Jahrb. Bd. 23. (53.) S. 329. — *G. Weber* A. Blasinstrumente, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 328. sagt überhaupt: »Auf der Flöte wird der Ton auch dadurch tiefer, dass man das Mundloch mehr mit der Lippe bedeckt.«

Ansicht angeführt werden, dass der mechanische Entstehungsgrund der harmonischen Töne der Flöte Erweiterung der Mündung sei ([60]).

β) Umgekehrt werden, nach der Ansicht von Quanz ([61]), die harmonischen Töne der Flöte durch Verengung des Mundlochs hervorgebracht (vgl. § 30. S. 590.). — Auf der Clarinette, der Hoboe und dem Fagott wird beim Angeben der höhern Töne das Rohr oder Blatt mit den Lippen enger gepresst.

bb) *Einfluss der Grösse der obern Öffnung.*

Auch hier ist eine *permanente* und *momentane* Grösse zu unterscheiden.

1) Die Grösse der Öffnung ist *permanent*. Die möglichen Grade dieser Grösse lassen sich in 3 Classen eintheilen:

α) Die Öffnung hat *gleiche* Weite wie der übrige Theil der Röhre. Dieses ist der Fall z. B. bei der Flöte, dem Fagott und bei den offenen Labialpfeifen, wenn nicht eine später zu erwähnende Vorrichtung angebracht ist. Durch diese gleichmässige Öffnung erleidet die Tonhöhe keine Änderung.

β) Die Öffnung ist *weiter* als der übrige Theil der Röhre. Dieses ist bei den meisten Blasinstrumenten der Fall: bei den Trompeten, Hörnern u. s. w., wo dieses Ende der *Schallbecher* oder *Schallkegel* heisst; bei der Clarinette und Hoboe, wo man ihn die *Stürze* nennt. Der Ton wird durch diese Erweiterung des Endes sowohl qualitativ als quantitativ geändert; denn er wird heller, stärker und zugleich höher, als er sonst der Länge der Röhre zufolge

---

60) S. *Chladni's* Auszug aus d. Aufs. *Liebeskind's* in d. Leipz. Allgem. musik. Zeitung Jahrg. X. Nr. 47—49.; in s. N. Beytr. S. 67. 61) S. *Chladni* a. a. O.

sein müsste ([62]). Diese Erhöhung hat wohl, wie auch Chladni ([63]) vermuthet, darin ihren Grund, dass die Länge der Luftsäule durch diese Divergenz des einen Endes etwas verkürzt wird. Dieser Erfahrung zufolge werden offene Labialpfeifen von Blei oder Zinn, wenn sie zu tief tönen, dadurch in ihrem Tone erhöht, dass ihr oberes Ende mittelst des sogenannten *Stimmhorns* ([64]) verhältnissmässig erweitert wird. — Zu dieser Classe gehören auch z. B. konische und pyramidale Orgelpfeifen, wenn die Schwingungserregung vom engern Ende ausgeht ([65]).

γ) Die Öffnung ist *enger* als der übrige Theil der Röhre. Beispiele dieser Art findet man nur bei Orgelpfeifen, nicht aber bei Blasinstrumenten, mit Ausnahme des sogenannten Vogelrufes. Die Verengung der Öffnung hat stets eine Vertiefung des Tones zur Folge, und wird auf dreierlei Art bewirkt:

$\alpha\alpha$) durch *Convergenz* der Röhre. Dass bei dieser der Ton tiefer wird, erklärt Chladni ([66]) daraus, dass die schwingende Luftsäule, welche überhaupt ein wenig länger zu sein scheint als die Länge der Röhre (s. oben S. 550. bei der Länge der Luftsäulen), durch Convergenz allem Ansehen nach etwas verlängert werde. Daher werden offene Labialpfeifen von Blei oder Zinn, welche etwas zu hoch tönen, dadurch gestimmt, dass man die Ränder der obern Öffnung mittelst

62) *G. Weber* A. Blasinstrumente, a. a. O. S. 328. 63) Akust. S. 87. 64) *Biot* II. S. 99. Das Instrument, welches den Namen *Stimmhorn* führt, besteht aus einem festen Stiele, der an einem Ende einen massiven Kegel, am andern einen hohlen Trichter hat. Soll das eine Pfeifenende erweitert werden, so steckt man die Spitze jenes Kegels hinein, und treibt durch Hin- und Herdrehen den Rand des Endes aus einander. S. d. Abbildung bei *Biot* II. Taf. VI. Fig. 44. 65) Eine Theorie konischer Pfeifen hat *Pellison* versucht in s. Schrift: Theorie gedeckter cylindrischer und konischer Pfeifen und der Querflöten. S. 8 ff. — Wie sich diese Pfeifen, wenn sie gedeckt sind, von gedeckten cylindrischen und prismatischen unterscheiden, ist S. 103 f. gezeigt. 66) Akust. S. 87.

des Trichters des Stimmhorns etwas zusammentreibt und so die Öffnung nach Maassgabe der zu erreichenden Vertiefung verengt ([67]). — Hieher gehören, ihrem Baue zufolge, mehrere Arten der offenen Labialpfeifen, wie das *Gemshorn*, die *Spitzflöte*, *Waldflöte* u. s. w. ([68]).

ββ) durch *theilweises Decken*. Dieses geschieht auf zweierlei Weise:

a) entweder dadurch, dass an die obere Öffnung der Labialpfeife in einer gegen ihre Axe geneigten Richtung ein dünnes Blatt von Blei angesetzt und seine Neigung so lange verändert wird, bis die etwas zu hoch tönende Pfeife dadurch auf die rechte Tonhöhe gebracht ist ([69]).

b) durch theilweise Verschliessung der Öffnung mittelst einer senkrecht auf die Axe befestigten Platte, welche so gestaltet ist, dass entweder eine halbkreisförmige oder eine halbmondförmige Öffnung an der Seite der Platte, oder eine runde Öffnung in der Mitte derselben übrig bleibt. Das Letztere ist beim sogenannten *Vogelrufe* der Fall, einem kleinen, gewöhnlich aus Knochen, bisweilen aus Holz oder Metall verfertigten Instrumente, dessen sich die Jäger zum Nachahmen der Vogelstimmen bedienen. Es bildet bisweilen eine kleine cylindrische Röhre, 8 bis 9 Linien dick und 4 Linien hoch, an beiden Enden mit einem dünnen, ebenen

---

67) *Biot* II. S. 100. 68) *Nave* A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S. 175. 69) *Biot* II. S. 99. Dieses Verfahren wird bei offenen Labialpfeifen solcher Materien angewandt, welche kein solches Verfahren, wie das zuvor genannte mittelst des Stimmhorns gestatten, z. B. also bei hölzernen Pfeifen.

Blättchen verschlossen, das in seiner Mitte ein 2 Linien grosses Loch hat. Die Jäger nehmen dieses Instrument zwischen die Zähne und die Lippen, und können durch den Hauch sehr verschiedene Töne hervorbringen. Diese Töne sind tiefer, wenn die Öffnungen weiter sind (70). Dass auch die Richtung des Randes an der Öffnung auf den Ton Einfluss hat, ist schon S. 104. erwähnt. — Hieher gehört ferner die besondere Art Flötenwerke der Orgel, welche man *Rohrflöten* nennt. Sie bestehen aus einer übrigens gedeckten Pfeife, in deren Deckel aber ein kleines rundes Loch angebracht und in dasselbe eine an beiden Enden offene, kurze Röhre, die gleichen Durchmesser wie das Loch hat, eingefügt ist. Die Tonhöhe dieser zusammengesetzten Pfeifen steht in der Mitte zwischen der der ganz gedeckten und der am obern Ende ganz offenen (71).

γγ) durch *Convergenz* und *theilweises Decken* zugleich. Dieses ist der Fall bei den halbgedeckten Labialpfeifen, welche *Nassat*, *Nachthorn* und *Flûte douce* oder *Flauto dolce* heissen. Bei der letzten hat die Decke die Form eines halben Mondes (72).

---

70) Es kann dieses Instrument auch mit einer Ansatzröhre verbunden werden. S. d. Abbildung mit und ohne solche Röhre in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) Taf. II. Fig. 31—33. Untersuchungen über dieses Instrument haben *Savart* (s. ebend. S. 316 ff.), *Pellisov* (Theorie gedeckter cylindrischer und konischer Pfeifen u. s. w. S. 13.) und *Müller* (Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 140 f. 148 f.) angestellt. Der Letzte schwankt, ob er das Instrument zu den Zungenwerken rechnen oder mit den Labialpfeifen zusammenstellen soll, neigt sich indess mehr zur letztern Ansicht hin, welche auch von den beiden Erstern ausgesprochen ist.

71) *Biot* II. S. 97., die Abbildung einer solchen Pfeife s. ebend. Taf. VI. Fig. 40. Vgl. *Nauc* a. a. O. S. 176.

72) *Nauc* a. a. O. S. 176.

2) Die Grösse der obern Öffnung ist *momentan.* Dieses ist der Fall bei dem sogenannten *Stopfen*, welches beim Waldhorne, bisweilen auch bei der Trompete, zur Vertiefung des Tones angewandt wird und in einer gewissen mehrern oder wenigern Hineinbewegung der Hand in den Schalltrichter des Instruments besteht. Durch diese Mittel lässt sich ein Ton um eine grosse diatonische Stufe erniedrigen; er wird aber zugleich matter und dumpfer ([73]).

cc) *Einfluss der Grösse der seitlichen Öffnung.*

Es ist schon oben bemerkt, dass hier nur solche Seitenöffnungen gemeint sind, durch welche *nicht geblasen* wird; denn sonst würde z. B. auch das Mundloch der Flöte hieher gehören, weil es sich an der Seitenwand, nicht im Deckel befindet. Man hat also an den *Aufschnitt* (*bouche*) der Labialpfeifen, der auch *Mundloch* und *Embouchure* ([74]) genannt wird, und an die *Tonlöcher* der Blasinstrumente zu denken. — Auch bei dieser Öffnung unterscheiden wir eine *permanente* und *momentane* Grösse.

1) Die Grösse der Öffnung ist *permanent.* Bei Verminderung ihrer Grösse erscheinen entgegengesetzte Wirkungen:

α) Der Ton wird *tiefer*, wenn man bei gedeckten Labialpfeifen den Aufschnitt durch sogenannte *Bärte* verengt. Eine noch grössere Vertiefung lässt sich durch eine gewisse dachförmige Bedeckung des Aufschnitts bewirken. Beides ist schon S. 122. Note 12. ausführlicher angegeben ([75]). — Mit dieser Ver-

---

73) *Koch*: mus. Lex. A. Horn S. 763 ff. — *G. Weber* A. Blasinstrumente a. a. O. S. 329. — *Chladni* S. 88. — *Biot* II. S. 93.

74) Der erste Name ist der gewöhnliche (s. *Biot* II. S. 77. — *Naue* a. a. O. S. 168.); den zweiten findet man in *Dulong*'s Abh. in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 16. (92.) S. 460. 462.; den dritten bei *Müller* (Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 139 f.).

75) Man vgl. auch die von *Dulong* (a. a. O. S. 460.) beobachtete Veränderung der Schwingungszahl, wenn er den Aufschnitt mit einem ble-

tiefung des Tones durch Verengung des Aufschnitts ist in gewisser Hinsicht das schon oben S. 556 ff. bei den Tonlöchern Erwähnte zu vergleichen, dass nämlich bei einem Tonloche, welches gleiche Weite mit der Röhre hat, der Ton alsdann der Länge des Zwischenraums zwischen der Öffnung, wo sie angeblasen wird, und dem offenen Tonloche umgekehrt proportional ist; dass hingegen dieses Verhältniss nicht genau Statt findet, sondern der Ton etwas tiefer ist als er es der Länge des Zwischenraums zufolge sein würde, wenn das Tonloch nicht so gross ist, weil dann noch ein Stück der jenseits des Loches befindlichen Luftsäule mitschwingt, und somit die tönende Luftsäule länger als jener Zwischenraum ist (76). Hier bewirkt demnach die Verkleinerung des Tonlochs Ähnliches wie die Verengung des Aufschnitts, aber aus einer ganz andern Ursache.

β) Der Ton wird *höher*. Dieses zeigt sich sowohl bei offenen als bei gedeckten Pfeifen. Denn man kann, wie Dulong's, Biot's und Hamel's Versuche gezeigt haben, durch Verengung des Aufschnitts bewirken, dass die Luftsäule statt ihres Grundtons einen Flageoletton hervorbringt. Dass auf solche Weise eine offene Pfeife namentlich zur Hervorbringung ihres ersten Flageolettons, also der nächst höhern Octave ihres Grundtons veranlasst werden kann, ist schon S. 122 f. Note 12. aus Dulong's Versuchen erwähnt. Biot und Hamel wandten

---

chernen Trichter bedeckte. Hier sind auch *Chanteau*'s Versuche zu erwähnen, weil sich dabei unter andern auch der Einfluss der Grösse des Aufschnitts mit zeigt. Diesem gelang es, indem er den Pfeifen eine sehr grosse Dicke im Verhältniss zu ihrer Länge gab, ihren Aufschnitt verkleinerte und die Richtung der Luftschicht, durch welche die Luftsäule der Pfeife in Schwingung versetzt wird, abänderte, ausserordentlich tiefe Töne aus denselben hervorzulocken. S. *Biot* II. S. 96.

76) Vgl. *G. Weber* A. Blasinstrumente, a. a. O. S. 329 f.

bei ihren Versuchen eine 4 Fuss lange, vierkantige, 4 Zoll breite, an einem Ende verschlossene Pfeife an. Der Aufschnitt nahm die ganze Breite ein und konnte durch einen Schieber von oben verlängert werden. Die durch solche Veränderungen der Grösse des Aufschnitts, bei gleichbleibender Stärke des Anblasens, bewirkten Töne waren folgende:

Grösse der Öffnung	66,0,	36,5,	26,0,	20,5,	16,5,	14,0,	3,8,
Erzeugte Töne	c	$\overline{g}$	$\overline{\overline{e}}$	$\overline{\overline{h}}$	$\overline{\overline{\overline{d}}}$	$\overline{\overline{\overline{f}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}$.

66,0 Theile der Öffnung machen einen Quadratzoll aus. Die erzeugten Töne entsprechen den Zahlen 1, 3, 5, 7, 9, 11, 43. Der Erfolg der Verengerung des Aufschnitts ist also bei der gedeckten Pfeife hiernach derselbe, wie der durch Veränderung des Blasens bei der Flöte u. s. w. bewirkte ([77]). Auf diese Erfahrung, dass eine Pfeife nur bei gehöriger Weite des Aufschnitts den ihrer Länge zugehörigen tiefsten Ton geben kann, der zugleich immer der volltönendste von allen ist, die sie hervorzubringen vermag, stützt sich das Verfahren der Orgelbauer, das obere Labium (vgl. S. 121.) anfangs immer tiefer herabreichen zu lassen als es sein darf, und dann, nachdem die Pfeife an ihre Stelle gebracht ist und gestimmt wird, nach und nach so viel von jenem Labium abzuschneiden, dass der Aufschnitt die zur Hervorbringung des tiefsten Tones nöthige Weite erhält. Dieses Verfahren ist um so sicherer, da auch das Maximum der Grösse dieser Öffnung seine Grenze hat, jenseit welcher die Pfeife schlecht oder gar nicht anspricht. Ausser der Grösse kommt

77) S. *Biot* II. S. 87. und die Abbildung der dazu angewandten Pfeife Taf. VI. Fig. 35. — *Müller*: Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 139. Vgl. die Versuche *Dulong*'s mit gedeckten Pfeifen, deren Aufschnitt er, eben so wie er es bei einer offenen Pfeife gethan, durch eine Bleiplatte verengte, a. a. O. S. 460.

aber zugleich die Richtung des untern und obern Labiums in Betracht. Beide treten nach innen; tritt aber das obere zu sehr nach innen oder zu sehr nach aussen hervor, so spricht die Pfeife schlecht oder gar nicht mehr an (78).

2) Die Grösse der seitlichen Öffnung ist *momentan*. Hieher gehört die momentane halbe Bedeckung eines gewissen Tonlochs beim Fagott, wenn der Blasende das Cis hervorbringen will, falls er es nicht mittelst Nachhülfe durch den Lippenansatz bewirkt, oder ein nach Almenröder's verbesserter Einrichtung verfertigtes Instrument hat (79). — Ferner würde die von Wilke (80) vorgeschlagene Einrichtung, falls sie realisirt wird, hieher gehören, dass nämlich Eine, der ganzen Länge des Pfeifenchors gleiche Klappe so auf einem Pfeifenbrette angelegt würde, dass sie, wenn sie vermöge eines Stössers in die Höhe gehoben würde, sich den Aufschnitten der Pfeifen näherte, und so den Ton jeder Pfeife vertiefte, indem ihre Höhe so zugeschnitten werden kann, dass sie alle verschiedene Aufschnitte verhältnissmässig deckt. Durch diese Einrichtung sucht er eine Compensation der Labialpfeifen zu erreichen, indem die Pfeifen, durch Annäherung jener Tonvertiefer an die Labien, um so viel tiefer im Tone werden sollen, als der verstärkte Wind sie erhöht (81), so dass demnach eine Crescendo-Orgel nicht nur von Seiten der nach W. Weber's Regeln verfertigten Zungenpfeifen (vgl. S. 485.), sondern auch von Seiten der Labialpfeifen möglich würde.

---

78) *Biot* II. S. 77 f. — Warum dem Aufschnitte nicht schon vor dem Einsetzen auf die Windlade mit Sicherheit die nöthige Weite gegeben und die Pfeife gestimmt werden kann, ist § 26. S. 419 f. erwähnt. 79) S. *G. Weber* A. Blasinstrumente, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 333. 80) S. *G. Weber* in d. Cäcilia Bd. XVI. S. 65 ff. 81) Vgl. S. 222. 482.

§ 30.

4. *Einfluss der Qualität und Quantität des den schwingenden Körper berührenden Körpers und der Bewegung des seine Schwingungen bewirkenden Körpers auf die graduelle Quantität seines Schalles.*

Wir theilen diesen Abschnitt in 2 Abtheilungen und betrachten

a) *den Einfluss des die Schwingungen bewirkenden Körpers.*

Soll ein Körper in *tönende Schwingung* versetzt werden, so *muss er in einem regelmässigen und angemessenen Takte hinreichend stark gestossen werden.*

Die Körper, welche zur Erregung von Schwingungen in andern Körpern gebraucht werden können, zerfallen in 2 Classen:

1) *solche, welche bloss Stösse ertheilen, ohne selbst zu schwingen,*
2) *solche, welche, während sie Stösse ertheilen, zugleich selbst schwingen.*

Körper der erstern Classe sind ein durch Colophonium rauh gemachter Violinbogen, nasse Finger, ein nasses Tuch, Filz, Leder, Korkholz, hölzerne, mit Leder gepolsterte Hämmer, ein Luftstrom u. s. w. (1); Körper der zweiten Classe sind die von § 17. an erläuterten Körper.

Das Verfahren, durch Körper der erstern Classe andere in Schwingung zu versetzen, heisst die *unmittelbare Erregung*, weil man hierbei den zu erregenden Körper selbst mit einem solchen bloss *stossenden* (oder, was nach S. 5. darunter zugleich mit begriffen ist, *reibenden*) Körper, z. B. einem Violinbogen, unmittelbar berührt. Das Verfahren, durch Körper der zweiten Classe andere in Schwingung zu versetzen, heisst die *mittelbare Erregung*, weil dann der

1) S. *Baumgartner*: Supplbd. S. 371 f.

bloss stossende Körper nicht den Körper, auf dessen Schwingungserregung es eigentlich abgesehen ist, selbst berührt, sondern den Körper der zweiten Classe durch seine Stösse in Schwingung versetzt, der dann wiederum den mit ihm verbundenen Körper, dessen Schwingung beabsichtigt wird, durch die demselben während seines eigenen Schwingens ertheilten Stösse in Schwingung versetzt. So erregt man z. B. die Schwingungen einer Platte *unmittelbar*, wenn man sie selbst z. B. mit dem Violinbogen streicht; *mittelbar* dagegen erregt man sie, wenn man sie z. B. mit einer gespannten Saite verbindet und nun diese Saite mit dem Violinbogen streicht, die, dadurch in Schwingung versetzt, wiederum durch ihre Stösse die Platte zum Schwingen veranlasst. Viele Beispiele dieser letztern Art sind schon oben § 23. und 24. bei den primären Schwingungen flächenförmiger Körper angeführt.

Prüfen wir nun nach den zuvor angegebenen Erfordernissen zur Erregung tönender Schwingungen diese beiden Erregungsarten, so ergibt sich folgendes Verhältniss.

1) *Regelmässige Stösse* können an sich die Körper von beiderlei Classen ertheilen. Denn z. B. ein Violinbogen ertheilt einem Körper, den er taktmässig reibt, regelmässige Stösse. Dasselbe wird an und für sich auch jeder regelmässig schwingende oder (was dasselbe ist) klangfähige Körper bewirken. Da nur so regelmässige Schwingungen entstehen können, also auch nur so ein *Klang* erregt werden kann (s. S. 66 f.), so folgt von selbst, dass dieselben Körper, welche, regelmässig erschüttert, klingen, d. h. Töne von einer vergleichbaren Höhe hervorbringen, dann, wenn sie unregelmässig erschüttert werden (mit Ausnahme der homogenen Saiten), ein bloss verworrenes Geräusch hören lassen können (²).

---

2) *Fechner*: Repert. I. S. 265. — *Biot* II. S. 49.

2) *Angemessene Stösse*, d. h. solche, wie sie für den zu reregenden Körper überhaupt und für die etwa beabsichtigte Schwingungsart am geeignetsten sind, können nur von einem Körper ertheilt werden, der entweder selbst schon in dem dazu angemessenen Takte sich bewegt, oder durch Accommodation leicht diesen Takt annimmt. Hier nun zeigt sich ein sehr wichtiger Unterschied zwischen jenen beiden Erregungsarten, welchen W. Weber ([3]) nachgewiesen hat, indem er die Methode Savart's mit der Methode Chladni's vergleicht. Ersterer hat bei seinen akustischen Untersuchungen vorzugsweise die mittelbare Erregungsart angewandt, Letzterer dagegen erregte die Körper, deren Schwingungsarten er prüfen wollte, unmittelbar, und machte, gar wohl mit jener andern Methode bekannt, nur bei den beiden, von ihm erfundenen Instrumenten, dem *Euphon* und dem *Clavicylinder*, von ihr Gebrauch, indem die Klangstäbe dieser Instrumente, seiner Anordnung zufolge, meistens durch mit ihnen eng verbundene Streichstäbe in Schwingung versetzt werden ([4]). Die Resultate Weber's bei jener Vergleichung sind:

a) Ein *bloss stossender Körper*, z. B. ein Violinbogen, accommodirt sich dabei der Schwingung, zu welcher der zu erregende Körper geneigt ist, und stösst einen zu einem tiefern Tone geneigten Körper in einem langsamern, einen zu einem höhern Tone geneigten Körper in einem schnellern Takte; denn der Takt, in dem er stösst, hängt selbst grösstentheils von den Rückstössen ab, die er von dem tönenden Körper erhält, den er selbst erst in Schwingung gesetzt hat.

---

3) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 15. (45.) S. 296 ff. 4) S. die Beschreibung dieser Instrumente in *Chladni's* Beytr. z. prakt. Akust. S. 9 ff.

b) Ein *selbst schwingender Körper*, z. B. eine gespannte Saite oder ein Stäbchen von bestimmter Länge, welche man mit einem Körper, den man zum Tönen bringen will, in Verbindung gesetzt hat und dann streicht oder reibt, sind vermöge ihrer Länge und Spannung zu Schwingungen von einer bestimmten Geschwindigkeit geneigt, die zwar durch die Rückstösse des tönenden Körpers, mit welchem sie verbunden sind, einigermassen, aber doch nur unvollkommen modificirt werden können. Passt daher die Zahl der Schwingungen, zu denen die Saite oder das Stäbchen geneigt ist, zu der, welche der Körper, der zum Tönen gebracht werden soll, am leichtesten hervorbringt, nicht zufällig, so erhält der tönende Körper ausser den Stössen, die ihn zum Tönen bringen, noch eine Menge anderer, die den Ton entweder rauh machen, oder ein Geräusch verursachen, oder auch eine unhörbare Schwingung erregen. Es wird demnach auf die letztere Weise die Schwingung von dem erregten Körper nicht so vollkommen vollbracht, sondern durch eine Menge fremdartiger, zugleich vorhandener Schwingungen gestört. Vieles, was zum Belege dienen kann, dass die Stösse nicht bloss regelmässig, sondern auch dem zu erregenden Körper angemessen sein müssen, wenn tönende Schwingungen bei ihm entstehen sollen, ist § 26. angeführt.

Endlich sind zur Erregung tönender Schwingungen noch erforderlich

3) *hinreichend starke Stösse.* Dergleichen können zwar an sich sowohl von bloss stossenden Körpern, als auch von selbst schwingenden Körpern ertheilt werden; sehr oft aber haben die von den letztern bewirkten Stösse nicht die nöthige Stärke, um ein Selbsttönen in

einem andern Körper zu erregen. Dann entsteht entweder nur eine mittönende oder eine bloss tonlose Schwingung in dem Körper, der mit einem schwingenden Körper verbunden ist.

Aus diesem Allen folgt

1) dass zur Erforschung des Zustandes des *Selbsttönens* der Körper die Methode, sie unmittelbar in Schwingung zu versetzen, vorzuziehen ist, weil bei dieser die selbsttönenden Schwingungen leichter und vollkommener hervorgebracht werden, während sie bei der mittelbaren Erregung unvollkommener sind und noch öfter statt derselben bloss *mittönende* oder *tonlose* Schwingungen entstehen, welche sorgfältig von jenen zu unterscheiden sind, wie man aus der häufigen Verschiedenheit der Schwingungsfiguren dieser letztern beiden Arten von der erstern ersehen kann (s. § 22.).

2) dass hingegen, wenn man die *Mittheilung* der Schwingungen untersuchen will, die Methode der mittelbaren Erregung Treffliches leistet. Denn bei dieser hat man es z. B. ganz in seiner Gewalt, welche Art der primären Schwingungen man in einem Körper mittelst eines andern schwingenden Körpers hervorbringen will, wie § 24. bei der Angabe der mittelbaren Erregungsart der verschiedenen primären Schwingungsarten gezeigt ist.

Wir geben nun noch in der Kürze bei den verschiedenen klangfähigen Körpern, bei denen es nicht schon oben erwähnt worden, an, wie sie *unmittelbar* oder *mittelbar* zum Tönen gebracht werden, und befolgen dabei die obige Reihenfolge.

1. *Saiten.*

a) *Unmittelbare Erregungsarten derselben.*

aa) Mittelst *fester* Körper:

a) durch die *Finger*, so bei der *Harfe*, *Guitarre*, *Mandoline*, *Laute* u. s. w.;

b) durch *Hämmer* angeschlagen mittelst einer Tastatur, wie es z. B. beim *Pianoforte* geschieht;

c) durch *Klöppel* angeschlagen mittelst der Hände, so z. B. beim sogenannten *Hackebrett*;

d) durch *Tangenten*, die an Tasten angebracht sind, an dem einen Ende angeschlagen und gehalten, so beim *Clavier* und *Clavichord*;

e) durch *Federn* gerissen mittelst einer Tastatur; so geschah es sonst beim *Flügel* oder *Spinet*;

f) durch den *Violinbogen*, so bei *Geigeninstrumenten* aller Art; ausserdem bei dem *Bogenclavier* oder *Bogenflügel* und, zugleich mit dem bei b. angegebenen Mechanismus verbunden, bei dem *Bogenhammerclavier* (5);

g) durch *Glasstäbe* gerieben, die als Tasten bewegt werden (s. S. 29 f.).

Anmerkung. Merkwürdig ist das Verfahren Pellisov's, auf einer Violinsaite von gleichbleibender Spannung durch Streichen Töne von mannichfaltiger Höhe (Äolsharfentöne) hervorzubringen. S. das Ausführlichere hierüber in Poggendorff's Annal. Bd. 19. (95.) S. 251 ff. und im Auszuge daraus in Fechner's Repert. I. S. 253 f.

bb) Mittelst *elastisch flüssiger* Körper: nämlich durch einen *Luftzug*, so bei der *Äolsharfe* (6), bei der

5) *Chladni*'s Beytr. z. prakt. Akust. S. 7 f. Die genauere Beschreibung des *Bogenclaviers* und des *Bogenhammerclaviers* findet man in *Koch*: mus. Lex. u. d. WW. S. 263 f.

6) Über die Töne der Äolsharfe findet man Bemerkungen und ausführlichere Untersuchungen in *Chladni*'s Akust. S. 68 f., in d. Leipz. Allgem. musik. Zeitung Jahrg. 1801. Nr. 28. S. 472 ff. von v. *Dalberg*, in *Koch*: mus. Lex. u. d. W. S. 82 ff., mehr noch in *Gilbert*'s Annal. Bd. X. S. 57—67. von *Young*; noch ausführlicher, aber in ihren Resultaten von jenen frühern abweichend, sind die Untersuchungen *Pellisov's*, welche er in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 19. (95.) S. 237 ff. bekannt gemacht hat (einen Auszug daraus findet man in *Fechner*'s Repert. I. S. 309 ff.). Vgl. auch s. Berichtig. eines Fundamentalsatzes d. Akust. S. 2 ff. — In d. Cäcilia Bd. I. S. 131 f. findet man eine Notiz von einer »*natürlichen Äolsharfe*«, die sich nahe bei dem Amtsstädtchen Tryberg, in einer

sogenannten *Wetterharfe* oder *Riesenharfe* ([7]), bei dem *Anemochord* oder *Windclavier*, dessen Saiten durch den auf dieselben geleiteten Wind eines Blasebalgs zum Ansprechen gebracht werden.

b) *Mittelbare Erregungsarten* derselben.

aa) Mittelst *fester* Körper. Hieher gehört, dass eine tönende Saite oder auch ein anderer tönender fester Körper, z. B. ein elastischer Stab, gewisse Saiten zum Selbst- oder Mittönen veranlasst (s. S. 58 ff. und § 26.).

bb) Mittelst *elastisch flüssiger* Körper. Hieher gehört der § 26. erwähnte Fall, dass auch die tönende Luftsäule, z. B. einer Flöte, die mit ihr in Einklang gestimmten Saiten, welche in der Nähe sich befinden, zum Mittönen veranlasst.

2. *Luftsäulen.*

a) *Unmittelbare Erregungsarten* derselben.

aa) Mittelst *atmosphärischer Luft.*

α) Bei den *Orgelpfeifen* geschieht dieses bekanntlich mittelst einer Windlade, welche den Wind durch Blasebälge empfängt und in die bestimmte Pfeife durch die untere Öffnung derselben, sobald diese mittelst eines Ventils geöffnet worden, einströmen lässt ([8]). Wie sich dabei die beiden Hauptclassen, die Labial- und die Zungenpfeifen, von einander unterscheiden, ist § 18. und 27. gezeigt. Bis jetzt hat man die Orgeln so eingerichtet, dass der Ton

---

wilden Bergschlucht des Breisgauer Schwarzwaldes findet. Bei dieser ist zwar auch der Luftstrom der Erreger, allein die Saiten werden durch die Wipfel der Tannen und des Gesträuches vertreten. 7) Diese, die den Hauptmann *Haas* in Basel zum Urheber hat, bestand aus gespannten sehr langen Eisendrähten, welche bei Veränderung des Wetters auf sehr mannichfaltige Art tönten. Ausführlicheres s. bei *Chladni* S. 68 f.

8) Das Ausführlichere hierüber s. in *Naue's* A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S. 162.

stets gleichmässig in die Pfeifen einströmt, so dass der Grundton, den dieselbe immer nur angibt (mit Ausnahme der schon oben erläuterten Pfeifenart, welche *Quintatön* genannt wird), immer mit gleicher Stärke ertönt. Aber eben diese Gleichmässigkeit der Stärke ist ein Mangel dieses vollkommensten aller musikalischen Instrumente. Deshalb hat man sich bestrebt, eine sogenannte *Crescendo-Orgel* oder *Orgue expressif* zu Stande zu bringen, an welcher man die Töne beliebig anschwellen und schwächer werden lassen könnte. Bedürfte es dazu nichts weiter als einer Vorrichtung, eine beliebige grössere oder geringere Menge von Wind in die Pfeifen einströmen zu lassen, so würde der Mangel leichter zu beseitigen sein, indem man für jede Pfeife mehrere Ventile, durch welche ihr gleichzeitig der Wind zugeführt werden könnte, bestimmte, so dass, jenachdem nur ein, oder zwei u. s. w. durch eine gewisse Vorrichtung beliebig geöffnet würden, der Wind schwächer oder stärker einströmte; eine Einrichtung, wie man sie bei der in neuerer Zeit hie und da angebrachten Art von Zungenpfeifen, die man *Äoline* nennt, findet (9), deren Ton hiedurch vom leisen Piano bis zum Forte gesteigert werden kann. Allein mit einer blossen Verstärkung des Windzuflusses ist es hier noch nicht gethan, da die Erfahrung lehrt, dass schwingende Luftsäulen bei jeder so bewirkten Verstärkung ihrer Schwingungen höher, bei jeder Schwächung derselben, wie sie bei schwächerem Blasen entsteht, tiefer werden. Daher ist nur dann jener Mangel vollkommen beseitigt, wenn die Töne bei

9) Die genauere Beschreibung s. in *Naue's* A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S 178 f. Er fügt hinzu, dass bei der Veränderung der Stärke die Tonhöhe keine wesentliche Veränderung bei der Äoline, die er selbst gehört, erlitten habe.

ihrem Stärker- und Schwächerwerden dieselbe Höhe behalten. Für die Zungenpfeifen ist dieses bereits durch die von W. Weber aufgestellte Compensation derselben, wovon wir § 27. geredet, wirklich vollkommen erreicht, obgleich wohl noch nicht an einer Orgel wirklich ausgeführt, weil man hier immer noch die Zungenpfeifen mit aufschlagenden Zungen, wegen ihres grössern Effects, beibehält, während jene compensirten Zungenpfeifen durchschlagende Zungen haben. Dass auch für Labialpfeifen eine Compensation von G. Weber und Wilke vorgeschlagen worden und auch wohl, besonders nach Wilke's Angabe, ausführbar sein möchte, haben wir § 29. S. 579. erwähnt. So viel im Allgemeinen über die bei der Orgel übliche Art des Anblasens. — Diesem fügen wir noch die Resultate der Untersuchungen Savart's (10) bei, die sich auf das Anblasen beziehen. Über die *gleichmässige* Erschütterung der Luft *im ganzen Querschnitt* der Röhre ist schon § 29. S. 549. bei der Länge der Luftsäulen das Nöthige erwähnt. Wir führen deshalb nur folgende Ergebnisse hier an:

1) Bei langen Orgelpfeifen hat die Geschwindigkeit des erregenden Luftstroms auf die Tonhöhe wenig Einfluss. Es hält schon schwer, bei einer Orgelpfeife, die 12 bis 15 Mal länger als dick ist, den Ton um eine halbe Stufe zu erhöhen; denn der Ton springt in die höhere Octave über (falls die Labialpfeife eine offene ist), wenn der Wind zu stark wird.

2) Bei kurzen Röhren ist der Einfluss des Luftstroms viel bedeutender. Bei Röhren von glei-

10) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 316. 321. 325. Vgl. auch *Biot* II. S. 86 f. über die Flageolettöne der Orgelpfeifen.

cher Länge, Breite und Dicke kann der Ton dadurch allmälig um eine Quinte geändert werden. Doch gibt es unter allen diesen innerhalb einer Quinte liegenden Tönen einen vorzüglich leicht ansprechenden, sehr reinen und vollen Ton.

3) Sowohl an einer offenen als an einer gedeckten Labialpfeife lassen sich durch verstärktes Anblasen Flageolettöne hervorbringen, namentlich der erste Flageoletton, welcher bei offener Pfeife um eine Octave höher als ihr Grundton, bei gedeckten um eine Octave und Quinte höher als ihr Grundton ist.

4) Die Richtung des Windes gegen die Spalte der Orgelpfeifen hat gar keinen Einfluss auf die Höhe des Tones.

β) Bei den *Blasinstrumenten* verlangt man von dem, der sie bläst, nicht bloss, dass er den Grundton, oder, wenn das Instrument Tonlöcher hat, die verschiedenen *Grund-* oder *Primtöne* (s. das § 29. S. 556 ff. über die Tonlöcher Gesagte) hervorbringe, sondern auch, dass er bei der *Flöte* auf eben denselben Griff, mit welchem er sein tiefes $\bar{d}$ bläst, auch das höhere $\bar{\bar{d}}$ hervorbringe, so wie beim $\bar{g}$-Griff auch das $\bar{\bar{g}}$ u. s. w.; eben so bei der *Hoboe*; ferner dass er beim *Fagott* auf denselben Griff, mit welchem er G bläst, auch das g ansprechen lasse, und beim A-Griff auch das a, u. s. w.; dass er bei der *Clarinette* mit demselben Griff, womit er g bläst, auch $\bar{\bar{d}}$, mit dem a-Griff auch $\bar{\bar{e}}$ u. s. w. hervorbringe ([11]). So geläufig aber auch diese höhern *Beitöne* oder

11) S. *G. Weber* in d. Cäcilia Bd. XII. S. 1 f., u. A. Beitöne, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. VIII. S. 382.

harmonischen Töne (s. S. 24.) von geübten Spielern hervorgebracht werden, so ist man doch bis jetzt noch nicht zu einer sichern Erkenntniss des mechanischen Entstehungsgrundes dieser höhern Beitöne gelangt, daher findet man verschiedene Erklärungsarten. Mehrere solcher Erklärungen, insbesondere der harmonischen Töne der *Flöte*, hat Liebeskind in einem Aufsatze ([12]), worin er seine eigene Ansicht hierüber ausspricht, zusammengestellt, woraus wir die folgenden entnehmen:

1) *Verstärkung des Windes*
   a) entweder allein, so nach Dodart u. A.,
   b) oder verbunden mit einer andern Modification, nämlich
      aa) entweder mit grösserer Spannung der Lippen, so nach Daniel Bernoulli;
      bb) oder mit Verengerung des Mundlochs der Flöte, so nach Haller;
      cc) oder mit Verengerung der Öffnung zwischen den Lippen, nach eben demselben und G. Weber ([13]);
      dd) oder mit Verengerung beider Öffnungen zugleich, so nach Vaucanson und Tromlitz.
2) *Verengerung des Mundlochs*
   a) entweder allein, nach Quanz und Pellisov ([14]).

---

12) In d. Leipzig. Allgem. musikal. Zeitung Jahrg. X. Nr. 47—49. Einen Auszug daraus gibt *Chladni* in s. N. Beytr. S. 67 ff.

13) A. Beitöne, a. a. O. S. 381. sagt er, dass bei blosser Verstärkung des Blasens die höhern Töne der Flöte nur gewaltsam und schreiend heraus kommen, während der geübte Spieler selbst die höchsten Töne leise und zart herauszubringen vermöge, indem er den Luftstrahl zwar nur mässig stark, aber sehr dünn und scharf mache, und umgekehrt die tiefsten Töne mit grosser Kraft anzugeben verstehe, indem er den Strahl zwar verstärke, aber zugleich auch möglichst erweitere.

14) Über *Pellisov's* Ansicht s. s. Theorie gedeckter cylindr. und kon. Pfeifen und Querflöten S. 24.

b) oder verbunden mit einer andern Modification, nämlich

aa) entweder mit Verengerung der Lippenöffnung, um die Windmasse zu vermindern, so nach Devienne und dem Verfasser der Flötenschule des Pariser Conservatoriums.

bb) oder mit Verstärkung des Windes, s. 1. bb.

cc) oder mit beiden Modificationen zugleich, s. 1. dd.

dd) oder mit Verschwächung des Windes, nach Pellisov ([15]).

3) *Erweiterung des Mundlochs.*

4) *Verkleinerung des Winkels*, unter welchem der Luftstrahl in das Mundloch geblasen wird. Die Erfahrung lehrt 1) dass unter einem rechten Winkel, d. h. senkrecht auf das Mundloch, dieses als Basis angenommen, der aus dem Munde dringende Luftstrahl keinen Ton erzeugen kann; 2) dass der Winkel allemal ein spitzer Winkel sein muss; 3) dass die höchsten Töne desto leichter ansprechen, je spitzer der Einfallswinkel des Luftstrahls ist; 4) dass unter einem eben so spitzen Winkel die Grundtöne versagen. So nach Liebeskind.

In Bezug auf Blasinstrumente überhaupt bemerkt G. Weber ([16]), die Hauptsache scheine bei der Erzeugung der Beitöne allemal entweder in der grössern Geschwindigkeit und Heftigkeit zu liegen, mit welcher der Luftstrahl einströme und wodurch die in der Röhre enthaltene Luftsäule zu schnelleren Schwingungen angeregt werde; oder in

---

15) In s. Theorie gedeckter cylindr. und kon. Pfeifen und Querflöten S. 24 f.
16) A. Beitöne, a. a. O. S. 381.

der grössern Feinheit, Dünne und Schärfe des Strahls; oder, noch besser, in beiden zugleich. So namentlich bei der Flöte (s. Note 13.). Auf ähnliche Art werde auf der Hoboe, der Clarinette und dem Fagott, um die höhern Töne anzugeben, das Rohr oder Blatt mit den Lippen enger gepresst. Auch das engere Schliessen der Lippen der Trompeter und Hornbläser, wenn sie höhere Töne anzugeben haben, so wie dass der Primobläser ein engeres Mundstück als der Secundarius, der Bassposaunist und Serpentist ein viel weiteres, als der Trompeter führe, rechnet er hieher; vgl. indess, was § 27. S. 524. bei diesen Instrumenten hierüber, nach Müller, gesagt ist ([17]). — Angeführt muss hier noch werden, was er über das *Treiben* und *Sinkenlassen* durch mässige Verstärkung oder Schwächung des Windes bemerkt. Vermöge des Treibens kann man z. B. auf dem Horne das tiefe g ganz gut bis gis oder as hinauftreiben. Eben so lässt sich, durch Beihülfe des Sinkenlassens, auf der Flöte, welche, ohne eigenen $\overline{c}$-Fuss, eigentlich nur bis $\overline{d}$ hinabreicht, doch ziemlich vernehmlich $\overline{cis}$ herausbringen, ja selbst noch $\overline{c}$, wiewohl nur matt und elend. Eben so muss der Serpent-Spieler eine Menge von Tönen, die seinem rohen unausgebildeten Instrumente fehlen, bloss durch Treiben und Sinkenlassen, bald erzwingen, bald erbetteln ([18]).

Schon § 29. und bereits früher ist der sogenannte *Vogelruf*, das bekannte Instrument der Jäger, zum Nachahmen der Vogelstimmen, erwähnt; hier müssen wir abermals auf ihn zurückkommen, weil dieses Instrument, wegen seiner Kürze, vorzugsweise dem Anblasen grossen Einfluss gestattet. Setzt man an dieses kleine Instrument, um

---

17) *Biot* II. S. 91 ff. schreibt die Hervorbringung der verschiedenen Beitöne der Trompete, zum Theil auch des Horns, nur der verschiedenen Stärke des Blasens zu. Vgl. das § 27. S. 526. hierüber Bemerkte. 18) *G. Weber* A. Blasinstrumente, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. X. S. 328 f.

die Hervorbringung der Töne zu erleichtern, eine kurze Röhre an, so kann man alle Töne innerhalb anderthalb bis 2 Octaven angeben. Hat man den Athem recht in seiner Gewalt, so ist es möglich, noch tiefere Töne hervorzubringen. Es scheint, dass man auf diesem Instrumente ganz beliebig tiefe Töne hervorbringen könne, nur dass es sehr schwierig wird, den Athem gehörig zu mässigen. Eben so scheint man auch beliebig hohe Töne hervorbringen zu können; denn je stärker man bläst, desto höher der Ton. Aber die tiefen Töne sind dumpf und schwach, die höchsten unerträglich scharf, die mittelsten sehr voll und rein, wenn das Instrument gut gemacht ist. Man kann das Instrument doppelt oder 4 Mal grösser machen, ohne dass sich etwas Wesentliches in den Erscheinungen ändert. Immer gibt es einen Ton, welcher am leichtesten anspricht. Dieser Ton ist tiefer, wenn das Instrument grösser ist; höher, wenn es kleiner ist. Dieses sind die Resultate der Untersuchungen Savart's ([19]) über dieses Instrument.

Anmerkung. Zur Verhütung eines Missverständnisses muss erinnert werden, dass bei den Zungenpfeifen und den Blasinstrumenten, welche ein eigenes Zungenblatt haben, wie die Clarinette, die Hoboe und das Fagott, der in das Mundstück geblasene Luftstrahl nicht unmittelbar die Luftsäule der Röhre, sondern zunächst die Zunge in Schwingung versetzt, die dann wieder die Schwingungen der Luftsäule erregt, wie § 27. gezeigt ist. — Über das *Pfeifen* mit dem Munde theilt Pellisov eine Bemerkung mit in s. Berichtig. eines Fundamentals. d. Akust. S. 33. und in s. Theorie gedeckt. cylindr. und kon. Pfeifen u. s. w. S. 12.

In dem Bisherigen war von der gewöhnlichen Erregung schwingender Luftsäulen mittelst *atmosphärischer Luft* die Rede. Zu den unmittelbaren Erregungsarten solcher Luftsäulen gehört aber auch die

19) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 316 f. vgl. *Müller*: Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 140 f.

bb) mittelst eines *brennbaren Gases.*

Man befestigt in einer Flasche, welche solches Gas enthält, eine Leitungsröhre, durch welche es in die atmosphärische Luft ausströmt, und an dem äussern Ende dieser Röhre angezündet wird. Hält man über diese Flamme eine gläserne oder metallene cylindrische Röhre, die entweder an beiden Enden offen, oder an dem obern Ende gedeckt ist, oder eine Glasflasche von beliebiger Gestalt, eine Retorte oder irgend eine hierzu taugliche Art von länglichem und mit keiner allzu weiten Mündung versehenem Gefässe, so dass die Flamme sich etwas innerhalb des Cylinders oder Gefässes befindet, so entsteht bald ein Klang, der bisweilen so stark wird, dass er dem Gehöre beschwerlich fallen kann. Die Luftsäule des Cylinders oder Gefässes wird hier durch die Flamme und durch die Strömung des sich entwickelnden Gases, vielleicht auch durch ein fortdauerndes Einströmen der atmosphärischen Luft von unten (um den leeren Raum auszufüllen, welcher bei dem Verbrennungsprocesse entsteht) in Longitudinalschwingung versetzt, und befolgt in ihren Tönen dieselben Gesetze, wie sie oben bei den Labialpfeifen und andern Flötenwerken angegeben sind, auch ist der Ton allemal derselbe, als wenn man die Luftsäule durch Blasen in Schwingung versetzt. Ein solcher Apparat, wie der hier kurz angegebene, heisst eine *chemische Harmonika.* Beobachtungen darüber haben Chladni (20), aus dessen Bericht das hier Gesagte zunächst entnommen ist, van Mons (21) u. A. bekannt gemacht. Aus dem Berichte des Letztern füge ich die Bemerkung bei, dass alle brennbare Gase sich hierzu eignen, indem er gekohltes Wasserstoffgas, Schwefelwasserstoffgas, Hydrocarbongas, Kohlenoxydgas, das mit Knallluft und mit Stickstoffoxydluft gemischt war, erfolgreich bei diesen Versuchen anwandte.

---

20) Akust. S. 91 ff. 21) S. *Fechner*: Repert. I. S. 255.

b) *Mittelbare Erregungsarten der Luftsäulen.*

aa) Mittelst *fester* Körper.

Hieher gehören die von Savart gemachten Versuche, Luftsäulen durch vorgehaltene tönende Glocken oder Glasscheiben u. s. w., so wie die von Chladni und den Gebr. H. und W. Weber, Wheatstone u. A. gemachten Versuche, dieses mittelst vorgehaltener tönender Stimmgabeln zu bewirken ([22]). Zu dieser Rubrik gehören auch die § 27. erläuterten Zungenpfeifen und das Gender, da bei allen diesen die Luftsäulen dieser Instrumente durch schwingende Platten in Schwingung versetzt werden.

bb) Mittelst *elastisch flüssiger* Körper.

Hieher gehört Wheatstone's ([23]) Versuch, die Luftsäule einer Flöte durch Blasen einer dicht daneben gelegten zweiten Flöte, welche denselben Ton gibt, zum Mittönen zu veranlassen, s. S. 412.

3. *Stäbe.*

a) *Unmittelbare Erregungsarten* derselben.

aa) Mittelst *fester* Körper

a) durch *Klöppel* angeschlagen, so bei der *Strohfiedel*, dem *Sistrum*, dem *Triangel* (vgl. § 20 f.);

b) durch *Hämmer* angeschlagen mittelst einer Tastatur, so bei dem *Clavecin à cordes de verre* (im Englischen *Glasschord*);

c) durch eine Art von *Feder* gezupft mittelst einer Tastatur, so bei dem von Schuster ausgeführten Instrumente;

d) durch die *Finger* gezupft, so bei einem kleinen, in Brasilien gebräuchlichen Instrumente, das aus

22) S. *W. Weber* in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 397 ff. — *Wheatstone* ebend. Bd. 23. (53.) S. 328. — *Dulong* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 463 f. 23) A. a. O. S. 329.

dünnen Stahlstreifen besteht, die an ihren beiden Knotenlinien schwach befestigt sind;

e) durch einen oder mehrere *Violinbogen* gestrichen, so bei der *Eisenvioline* und ähnlich bei 2 andern Instrumenten;

f) durch eine sich umdrehende *Walze* gestrichen, so bei Chladni's *Clavicylinder*, wenn sie die Klangstäbe unmittelbar berührt.

bb) Mittelst *elastisch flüssiger* Körper: mittelst eines *Luftstroms*, der

a) entweder aus dem *Munde* hervordringt, so bei der *Mundharmonika* (vgl. § 27. S. 442.);

b) oder aus einer *Windlade*, so bei der *Äoline* oder dem *Äolodikon* (vgl. § 27. S. 442 f.).

b) *Mittelbare Erregungsarten* derselben.

Hieher gehört das von Chladni bei seinem *Euphon* und auch bei gewissen Bauarten seines *Clavicylinders* angewandte Verfahren, nicht den Klangstab selbst, sondern zunächst einen senkrecht ihn berührenden Stab (Streichstab) entweder mittelst der *Finger* (so beim Euphon) oder mittelst einer *Streichwalze* (so beim Clavicylinder) in Schwingung zu versetzen, und so mittelbar durch diesen den Klangstab zum Tönen zu bringen ([24]). — Hieher gehören ferner die Versuche Savart's, einen Streifen mittelst eines dünnen Glasstäbchens, welches er an eines der Enden des Streifens gelöthet, in Schwingung zu versetzen ([25]), so wie die andern aus Stäben von ihm zusammengesetzten Klangsysteme, die § 26. angeführt sind.

Anmerkung. Mir ist bis jetzt noch keine Stelle zu Gesicht gekommen, in welcher die mittelbare Erregung der *drehenden Schwingungen* berichtet würde. Ich habe eine solche im folgenden

---

24) Alles hier bei den Stäben Angegebene ist aus *Chladni's* Beytr. z. prakt. Akust. S. 6 ff. 68 ff. geschöpft. 25) *Biot* II. S. 58.

§, S. 607. bei der Erläuterung des Einflusses des den tönenden Körper umgebenden Wassers auf seinen Ton, zu zeigen versucht, indem ich zugleich die mittelbare Erregung aller übrigen Schwingungsarten, wovon § 24. (auch § 23.) weitläufiger die Rede war, in der Kürze wiederholt habe. Ob der so zu erregende Körper ein Stab oder eine Fläche ist, ändert nichts in der Sache, ausgenommen dass die letztere keiner drehenden Schwingung fähig ist.

4. *Membranen.*

Die hier anwendbaren *unmittelbaren* und *mittelbaren* Erregungsarten sind schon § 23. angegeben, womit man das § 27. über die Zungenwerke mit membranösen Zungen Gesagte und Savart's Experimente ([26]) vergleiche.

5. *Starre Flächen.*

Auch in Betreff dieser sind bereits § 24 f. die *unmittelbaren* und *mittelbaren* Erregungsweisen ihrer Schwingungen erwähnt, womit man auch § 26. vergleichen möge. Hier bemerke ich nur noch, dass zu der § 24. angeführten Beobachtung, dass eine Kreisscheibe durch einen Luftstrom in Schwingung versetzt werden könne, die § 27. erläuterten Zungenwerke mit starren Zungen reichliche Analogien darbieten; denn alle diese Zungen werden gleichfalls durch einen Luftstrom zum Schwingen gebracht. — Bei allen § 24 f. angegebenen *mittelbaren* Erregungsarten starrer Flächen berührte der erregende Körper den zu erregenden selbst unmittelbar. Die Schwingungen des erstern Körpers theilen sich aber auch dem letztern mit, wenn beide sich nicht unmittelbar berühren, sondern bloss durch die zwischen ihnen liegende Luft die Mittheilung geschieht. Dieses geschieht besonders, wenn die zu erregenden Flächen dünne Blättchen sind, aus welcher Substanz sie auch sein mögen. So bildet z. B. ein $\frac{1}{2}$ Linie dickes Holzblättchen von 4 Zoll Durchmesser, nachdem man Sand aufgestreut, regelmässige Knotenfiguren, wenn man ihm eine

---

26) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 307 ff.

schwingende Platte bis auf 1 Zoll nähert. Dasselbe zeigt sich bei allen metallenen Flächen, wenn sie recht fein sind. Z. B. ein feines Messingblech, das unter dem Namen Flittergold bekannt ist, bewegt den aufgestreuten Sand schon, wenn man eine tönende Glasscheibe bis auf 1 bis 2 Fuss nähert, und man kann daran recht deutlich beobachten, wie die Richtung der Bewegung sich mit der Lage der Glasplatte ändert. Demnach zeigen dünne starre Flächen ähnliche Erscheinungen wie Membranen, welche gespannt und ungespannt durch ihnen genäherte tönende Körper in Schwingung gesetzt werden. Alles dieses hat Savart ([27]) durch vielfache Versuche dargethan.

Dass ein Körper nicht bloss durch schwingende *feste* Körper und durch *elastisch flüssige*, sondern auch durch *tropfbar flüssige* in Schwingung versetzt werden könne, haben besonders Savart's Versuche gezeigt. Denn füllt man z. B. ein Gefäss mit Wasser, und versetzt die Wände desselben in Schwingung, so theilt sich diese Schwingung einem in oder auf dem Wasser befindlichen Körper, der weder Boden noch Wände berührt, mit ([28]).

Zum Schluss noch die Bemerkung, dass nicht bloss bei dem oben ausführlicher besprochenen *Anblasen* viel auf die Art desselben ankommt (vgl. auch § 23. und 27. über diesen Einfluss des Blasens auf die Membranen); denn auch bei andern Erregungsmitteln ist von Einfluss auf den Ton

1) theils der *Ort*, wo der erregende Körper den zu erregenden berührt, indem der letztere nach Verschiedenheit dieses Orts sich verschieden eintheilen, mithin einen verschiedenen, dieser Eintheilungsart entsprechenden Ton erzeugen kann. Vgl. was S. 24 f. über die Erregung der Schwingungen überhaupt, und § 23. über

27) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 313 f. 28) Ebend. S. 298 ff.

den Einfluss der Stelle, wo die *Membran* z. B. von einem Luftstrome gestossen wird, und § 22. und 24. über den Einfluss der Veränderung der Stelle, wo man eine *Scheibe* mit dem Bogen streicht, gesagt ist. In Betreff der *Stäbe* erwähne ich die Beobachtung Faraday's (29), dass sich lange Lineale, die er mittelst eines senkrecht aufgesetzten, longitudinal geriebenen Glasstabes in Schwingung versetzte, auf verschiedene Weise beim Schwingen abtheilten, jenachdem er den Ort der Aufsetzung des Stabes und den mit den angefeuchteten Fingern erregten Druck veränderte.

2) theils die *Stärke* oder *Schwäche* und die *Schnelligkeit* oder *Langsamkeit* der Stösse, welche der erregende Körper dem in Schwingung zu setzenden ertheilt. So werden z. B. bei Scheiben, die man mit einem Violinbogen streicht, wenn bei derselben Art des Haltens und bei demselben Orte des Streichens sowohl einfachere Schwingungsarten, welche tiefere Töne geben, als auch zusammengesetztere, die höher tönen, erregt werden können, erstere besser durch einen langsamern Bogenstrich mit vielem Drucke, und letztere besser durch einen schnellern Bogenstrich mit wenigerem Drucke hervorgebracht werden können (30). So kann auch bei der Berührung der Streichstäbe des Euphons mit den Fingern zu den tiefern Tönen der Druck etwas stärker sein als zu den höhern (31). (Vgl. auch das S. 504. bei β. αα. Bemerkte.) Andererseits führen schnelle und starke Streiche und Schläge leicht zur Erregung von Schwingungsknoten (32).

Einen Beweis sowohl von dem Einflusse des Orts der Berührung, als auch von dem der besondern Art des Strei-

---

29) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 223. 30) *Chladni*: N. Beytr. S. 40. vgl. Akust. S. 158. vgl. auch *Baumgartner* S. 248 f. 262. und Supplbd. S. 376. 31) S. *Chladni*: Beytr. z. prakt. Akust. S. 174. vgl. S. 173. 32) *Baumgartner* Supplbd. S. 375.

chens auf die Tonhöhe gibt auch das schon S. 585. erwähnte Verfahren Pellisov's, auf einer Violinsaite von gleichbleibender Spannung durch Streichen Töne von mannichfaltiger Höhe hervorzubringen.

Jedem mit dem Spiele der Geigeninstrumente näher Bekannten ist endlich auch der grosse Einfluss des Bogenstrichs auf die Qualität der Töne bekannt ([33]).

§ 31.

b) *Einfluss des Körpers, an oder in welchem der tönende Körper schwingt, auf die graduelle Quantität seines Schalles.*

Der Körper, an oder in welchem der tönende Körper schwingt, ist entweder ein *fester* oder ein *flüssiger*. Wir betrachten den Einfluss beider besonders.

I. *Einfluss der den tönenden Körper umgebenden festen Körper auf seinen Ton.*

Wir beginnen hier mit dem wichtigsten Punkte dieser Rubrik, dem Einflusse der *Wände* auf die Tonhöhe der von ihnen umschlossenen *Luftsäule.* Savart ([1]) hat untersucht, welchen Einfluss es auf die Töne habe, wenn man entweder das Labium, oder eine ganze Seite, oder alle Seiten einer Labialpfeife aus Membranen bilde, und diese verschieden spanne. Hier erhielt er folgende Resultate:

1) Wenn man an einer 2 Fuss langen, 2 Zoll dicken Orgelpfeife das *Labium* nicht aus einer starren Substanz, sondern aus einem elastischen Pergamentblättchen macht, so dass man es nach Belieben spannen kann, so kann man durch grössere Spannung dieses Blättchens und grössere Geschwindigkeit des Luftstroms den Ton um eine Quarte, und selbst um eine Quinte ändern.

---

33) Vgl. *Koch:* mus. Lex. u. d. W. S. 261 ff.

1) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 318 f.

2) Bei einer Röhre von gleicher Länge, Breite und Dicke kann der Ton um eine Octave tiefer werden, wenn man die *ganze Wand, welche das Labium bildet*, aus einer membranösen Materie macht.

3) Sind *alle Wände* einer kurzen Röhre so beschaffen, dass sie mit der Luft zusammen schwingen können; so kann durch grössere oder geringere Spannung der Wände jeder beliebige Ton hervorgebracht werden. Spannt man Pergamentblätter auf quadratischen Rahmen auf, und bildet daraus eine würfelförmige Pfeife, so ist der Ton dieser Pfeife, wenn die Wände sehr gespannt sind, fast so hoch, als wenn die Wände von einer harten Substanz wären. Vermindert man die Spannung der Wände, indem man sie durch Wasserdämpfe etwas feucht macht, so wird der Ton desto tiefer, je mehr die Spannung abnimmt. Man kann ihn noch hören, wenn er um mehr als zwei Octaven gefallen ist. Aber je tiefer er wird, desto schwächer ist er. In der Nacht hört man bei gehöriger Vorsicht, dass das Tieferwerden keine Grenzen hat.

4) Auch offene Orgelpfeifen können sehr verschiedene Töne geben, wenn ihre Wände ganz oder zum Theil membranös sind. Eine prismatische Pfeife, 9 Zoll lang, 18 Linien breit und dick, die $\bar{\bar{d}}$ geben sollte, kann, wenn die am Mundstücke gelegene Hälfte membranöse Wände hat, alle Töne zwischen $\bar{\bar{c}}$ und $\bar{c}$ und selbst einige zwischen $\bar{c}$ und c hervorbringen.

Auch beim *Vogelruf* zeigt sich nach Savart ([2]) dieser Einfluss einer Membran. Denn hat das Instrument eine halbkugelförmige Gestalt, und nimmt man zur Decke ein Pergamentblatt, so sprechen die Töne leichter an, sind tiefer, voller und angenehmer, als wenn die Decke von einer harten Substanz ist.

---

2) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 317 f.

Ausser diesen die Luftsäule unmittelbar berührenden Wänden haben auf die Tonhöhe der Luftsäule auch Einfluss die benachbarten Pfeifen. Denn wenn man in einer gut gestimmten Orgel einige Pfeifen absondert, indem man die benachbarten wegnimmt, so ändert sich ihre Tonhöhe, und sie halten nicht mehr Stimmung ([3]).

Anmerkung. **Auch die gewöhnlichen Wände der Luftsäulen wirken auf deren Ton, jedoch nicht sowohl auf die Höhe, als auf die Stärke und Qualität (timbre) desselben. S. Fechner: Repert. I. S. 255 f. — Savart in Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 317. — Pellisov: Berichtig. eines Fundamentals. der Akust. S. 18 ff., und ders. über Schall, Ton, Knall u. s. w. S. 9. — Naue A. Orgel, in der Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S. 166.**

Einen ähnlichen Einfluss auf die Tonhöhe, wie dort die benachbarten Pfeifen, äussern bei den von Chladni ([4]) erfundenen Instrumenten, dem *Euphon* und dem *Clavicylinder*, die benachbarten Klangstäbe gegenseitig auf einander. Zugleich aber modificiren sie auch die Stärke ihrer Töne.

Einen solchen die Tonhöhe ändernden Einfluss der benachbarten Körper fand Savart ([5]) auch bei einem Apparate, dessen er sich bediente, um die tangential longitudinalen Schwingungen von Stäben, die an ihren beiden Enden unbeweglich fest sind, zu erforschen. Derselbe besteht aus einem cylindrischen oder parallelepipedischen Glasstabe, der in 2 sehr starken Holzklötzen befestigt ist, die wieder durch eine dicke Holzleiste, welche die Basis des Apparats ist, verbunden sind. Stützt man die Basis dieses Apparats auf einen Körper von beträchtlichen Dimensionen, so ist der Ton weit höher, als wenn man ihn in der Hand hält;

---

3) *Biot* II. S. 100. vgl. *Pellisov*: Berichtig. eines Fundamentals. d. Akust. S. 20. vgl. § 26. 4) Beytr. z. prakt. Akust. S. 57 ff. 66. 5) In den Annales de chimie et de physique, par *Gay-Lussac et Arago* Tome XXV. p. 248. und Pl. 3. Fig. 94. (in *Schweigger's* Jahrb. Bd. 14. (44.) S. 400. und Tab. II. Fig. 7.).

wieder anders ist der Ton, wenn man den Apparat auf den Tisch stellt, und so ändert er sich stets nach der grössern oder geringern Zahl von Punkten der Basis und der Holzklötze, deren Bewegung man hemmt.

2. *Einfluss des den tönenden Körper umgebenden flüssigen Körpers auf seinen Ton.*

Dieser flüssige Körper ist entweder ein *elastisch flüssiger* oder ein *tropfbar flüssiger*. Bei der grossen Verschiedenheit beider Arten lässt sich auch ein sehr verschiedener Einfluss derselben auf den tönenden Körper erwarten.

aa) *Einfluss des den tönenden Körper umgebenden elastisch flüssigen Körpers auf dessen Ton.*

Hieher gehört der Einfluss der *Temperatur* der Luft auf den tönenden Körper

a) auf die *Saiten*. Da die Wärme die festen Körper ausdehnt, die Kälte aber sie zusammenzieht, so bewirkt die erstere eine Verminderung, die letztere eine Erhöhung der Spannung. Daher wird der Ton im erstern Falle tiefer, im letztern höher ([6]). Übrigens sind Metallsaiten weniger als Darmsaiten verschiedenen, den Ton ändernden Einflüssen ausgesetzt. Die letztern sind der Verlängerung durch Einsaugung von Feuchtigkeit, und umgekehrt der Verkürzung durch Trocknen sehr unterworfen ([7]).

Anmerkung. So wie die Metallsaiten in Hinsicht der Verlängerung bei Wärme und der Verkürzung bei Kälte mit dem Pendel übereinkommen, so darf man auch wohl annehmen, dass, wenn auch vielleicht in geringerem Grade, die Dichtigkeit oder Dünnheit der Luft auf jene Saiten einwirkt, wie es beim Pendel der Fall ist. Dichtere Luft widersteht stärker als dünnere.

---

6) *Chladni* S. 91. Man vergleiche hierbei *W. Weber's* Abh.: »Über die specifische Wärme fester Körper, insbesondere der Metalle,« in *Poggendorff's* Annal. Bd. 20. (96.) S. 177 ff., woraus *Fechner* im Repert. I. S. 69 ff. einen Auszug gibt.

7) *W. Weber* ebend. Bd. 15. (91.) S. 2.

Bouguer's Pendel, das Bogen von 2 Zoll beschrieb, wurde auf dem Pichincha erst nach 22 bis 23 Minuten so stark retardirt, dass die Bogen nur 1 Zoll betrugen; am Meeresstrande in dichterer Luft geschah dieses schon in 14 bis 15 Minuten. S. Gehler: phys. Wörterb. Th. III. A. Pendel S. 432.

b) Auf die *Stäbe.* Wenn man z. B. von 2 geprüften Stimmgabeln die eine durch längere Berührung mit der warmen Hand, durch das Einstecken in den Ärmel des Rockes oder auf sonstige Weise nur um wenige Grade erwärmt, so verändert sich die Zahl der Schwingungen, und diese Veränderung bleibt, obgleich im verminderten Grade, bis zum folgenden, ja mitunter selbst bis zum zweitfolgenden Tage wahrnehmbar, nach Scheibler's Beobachtungen (8).

c) Auf die *Membranen.* Spannt man recht feines Papier auf einen passenden Rahmen, und versetzt es, nachdem man etwas Sand aufgestreut, in Schwingungen, die sich durch die Knotenlinien des Sandes versichtbaren, so bemerkt man, Savart's (9) Versuchen zufolge, dass sich diese Knotenfiguren schon ändern, wenn man die Hand bloss bis auf $1\frac{1}{2}$ Fuss nähert. Dieses erfolgt wenigstens, wenn die Membran ausserordentlich fein ist. Nicht nur aber gegen die *Wärme* sind solche Membranen ausserordentlich empfindlich, sondern auch gegen die geringste *Feuchtigkeit*, und zwar in höherem Grade, als irgend eines der bis jetzt gebräuchlichen hygroskopischen Instrumente, so dass die Erscheinungen, welche sie bei den Knotenfiguren zeigen, zu hygrometrischen Zwecken benutzt werden können. Bringt man nämlich eine Knotenfigur wiederholt recht gut her-

8) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 29. (105.) S. 397. — Ich erwähne diese Beobachtung deshalb unter dieser Rubrik, weil auch hier die Einwirkung der Temperatur sich zeigt, gleichviel ob sie durch die Luft oder durch feste Körper bewirkt ist. Hätte ich bloss auf die hier beispielsweise als Ursache der Temperaturänderung angegebenen *festen* Körper Rücksicht genommen, so würde dieser Fall unter die Rubrik 1. gestellt worden sein.
9) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 311.

vor, und bläst dann schwach auf das Papier, wodurch es etwas feucht und seine Spannung vermindert wird, so ändert sich sogleich die Figur, erhält aber ihre erste Gestalt fast augenblicklich wieder, indem sie eine Menge, den Übergang bildende Figuren darstellt ([10]).

d) Auf die *Luftsäulen.* Bei diesen ist die Wirkung der Veränderung von Wärme und Kälte eine der vorigen entgegengesetzte; es wird nämlich durch Wärme der Ton der Luftsäule erhöht, durch Kälte erniedrigt ([11]). Dulong fand z. B., dass eine Labialpfeife, welche bei 22° C. einen Ton von 500 Schwingungen in der Secunde gibt, bei derselben Theilungsart (Schwingungsart) der Luftsäule, in der Temperatur 4° C. nur einen Ton von 484,8 Schwingungen hervorbringt ([12]). Es bedürfen daher alle Instrumente, in welchen Luftsäulen schwingen, wenn ihre Tonhöhe gegen diese Einflüsse geschützt sein soll, der Compensation. Wie diese zu bewirken ist, hat W. Weber gezeigt (s. § 27. S. 486. 496 f.). — Wird die Luftsäule mit dem Munde angeblasen, wie bei den Blasinstrumenten geschieht, so wird dadurch meistens ihre Temperatur erhöht und so die Tonhöhe gesteigert ([13]). Diese Temperaturerhöhung kann hier auf zweierlei Weise geschehen: 1) durch den wärmern Athem; 2) durch das Halten der Wände mit den warmen Händen; denn nach der Erfahrung der Orgelbauer ändert auch eine lange in den Händen gehaltene Pfeife ihren Grundton ein wenig ([14]).

---

10) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 310 f.
11) *Chladni* S. 91. Als Maass dieser Veränderung erwähnt er, dass der Unterschied der dadurch bewirkten Tonhöhe bei der grössten in unsern Gegenden vorfallenden Abwechslung der Wärme und Kälte beinahe einen ganzen Ton betragen könne. Bei der Flöte beträgt, nach dem Urtheile *Liebeskind's*, die durch Wärme und Kälte bewirkte Veränderung der Stimmung bei den in unserem Klima gewöhnlichen Verschiedenheiten der Temperatur nur etwa einen Viertelton. S. *Chladni*: N. Beytr. S. 67.
12) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 464.
13) *Chladni* S. 91. — *Baumgartner* Supplbd. S. 373.
14) *Müller*: Physiol. Bd. II. Abth. I. S. 139.

bb) *Einfluss des den tönenden Körper umgebenden tropfbar flüssigen Körpers auf dessen Ton.*

Hierüber hat Savart ([15]) genauere Untersuchungen angestellt, deren Resultate in der Kürze sind, dass die Töne longitudinal schwingender Körper, die aus Luft in Wasser getaucht werden, unverändert bleiben, die Töne transversal schwingender Körper aber dabei sich sehr stark vertiefen und die Knotenlinien derselben sich mehr als zuvor dem Rande nähern, so dass mithin bei Untersuchung des Schallleitungsvermögens des Wassers keine transversal, sondern longitudinal schwingende Körper angewendet werden müssen. Die eingetauchten Körper wurden mittelst einer Glasröhre in Schwingung versetzt; ein Verfahren, welches, wie oben erwähnt ist, sowohl Savart als Faraday (s. § 22.) häufig zur Erregung von Schwingungen angewandt haben. Wird eine solche Röhre in Transversalschwingung versetzt, so bewirkt sie, jenachdem ihre Schwingungsebene parallel ist mit der Längen- oder mit der Breitenaxe des Körpers, auf welchem sie senkrecht steht, im erstern Falle *tangential longitudinale*, im letztern Falle *tangential transversale* Schwingungen in diesem; fällt ihre Schwingungsebene zwischen jene beiden Richtungen, so entstehen in dem zu erregenden Körper *tangential schiefe*. Wird die Röhre in schwache Longitudinalschwingung versetzt, so erregt sie, wenn sie senkrecht auf dem Körper steht, *normale*; wenn sie schief ([16]) auf ihm steht, *schiefe* Schwingungen. Wird die senkrecht aufgesetzte Röhre in starke Longitudinalschwingung versetzt, so erregt sie in dem Körper *transversale* Schwingungen. Man kann folglich auch einen in

---

15) In *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 293 ff.

16) Ich bemerke hierbei in Bezug auf das, was ich § 24. S. 302. bei den *schiefen* Schwingungsarten gesagt habe, dass ich, seitdem ich jenes geschrieben, diesen Namen »*schiefe* Schwingungsbewegung« auch bei *Biot* II. S. 53. gefunden habe, während *W. Weber* (im angef. Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 294 f.) dafür den Ausdruck »*schräge* Richtung der Schwingungen« gebraucht. Beide Ausdrücke hatte ich damals übersehen.

Wasser eingetauchten Körper in alle jene Schwingungsarten versetzen. Nur von der drehenden Schwingungsart (vorausgesetzt, dass beide stabförmig, und also an sich dieser Schwingungsart fähig sind) ist mir bis jetzt noch kein Versuch einer mittelbaren Erregung bekannt; indess möchte auch bei dieser eine solche Erregungsart dadurch gar wohl bewirkt werden können, dass man beide Stäbe so mit einander verbände, dass sie Eine gerade Linie bildeten. Denn versetzt man, nachdem man sie so mit einander verbunden, den einen in drehende Schwingungen, so muss, dem Gesetze zufolge, dass alle Theilchen des mit einem schwingenden Körper verbundenen Körpers mit den Theilchen des erstern sich parallel bewegen (vgl. § 24.), auch der zu erregende Körper drehende Schwingungen machen. Da man nun diesen zweiten Körper sowohl in horizontaler Richtung mittelst eines der von Savart ([17]) gebrauchten Apparate, als auch in senkrechter Richtung in Wasser stellen kann, während der andere unmittelbar in drehende Schwingung versetzte Stab sich ausserhalb desselben befindet, so würde man auch prüfen können, welchen Einfluss dieses dichtere Medium auf diese Schwingungsart ausübte. Savart hat von jenen Schwingungsarten folgende im Wasser genauer geprüft:

1) die *tangential longitudinale.* Bei sehr langen und sehr dünnen Körpern, z. B. sehr langen Stäben, erfolgt, wenn sie bei dieser Schwingungsart aus der Luft in Wasser getaucht werden, entweder gar keine Änderung des Tones, oder wenigstens keine mit dem Ohre wahrnehmbare, und zwar gilt dieses nicht bloss vom Wasser, sondern auch von andern tropfbar flüssigen

17) S. den in den Annal. de chim. et de phys. Tome XXV. Pl. I. Fig. 31. abgebildeten. Einen andern, wobei der mittelbar in drehende Schwingung zu setzende Stab senkrecht im Wasser stände, könnte man leicht nach Analogie der ebend. Fig. 13. und 32. abgebildeten Apparate construiren.

Körpern, selbst vom Quecksilber. Deshalb bleibt auch die Lage der Knotenlinien dieselbe wie zuvor.

2) die *tangential transversale.* Bei Glasstäben und Glasplatten ist der Ton im Wasser vom Tone in der Luft um so mehr verschieden, je schmaler die Platten bei gleicher Länge und Dicke sind. Der Ton kann um eine halbe oder ganze Stufe tiefer werden.

3) die *transversale.* Hierbei hat er die Versuche mit folgenden Körpern angestellt:

α) mit *Stäben.* Ein Stab, welcher so schwingt, dass in der Luft 4 auf die Kanten senkrechte Knotenlinien sich zeigen, hat auch noch 4 Knotenlinien im Wasser, aber die, welche den Enden des Stabes zunächst lagen, rücken ihnen noch näher, und alle mittlere Abtheilungen werden länger. Um dieses zu zeigen, wirft man Sand in die Flüssigkeit, der dann auf den eingetauchten schwingenden Körper fällt und hier eben so gut Knotenlinien bildet als in der Luft ([18]).

β) mit *flächenförmigen Körpern*: *a*) mit *geraden.* Eine dünne Scheibe kann im Wasser oder in einer andern tropfbaren Flüssigkeit einen um eine Terz, Quinte, Octave, 2 Octaven tiefern Ton geben als in der Luft. Je grösser ihre Länge und Breite und je kleiner ihre Dicke ist, desto grösser ist die Abnahme der Schwingungen beim Eintauchen aus der Luft in eine tropfbare Flüssigkeit. — Eine runde Glasscheibe, die in der Luft eine kreisförmige Knotenlinie bildet, die alle Radien fast halbirt, bildet auch im Wasser eine kreisförmige Knotenlinie, die aber weiter nach dem Rande zu rückt, und zwar um so mehr, je grösser die Vertiefung des Tones ist. —

18) Verschieden hiervon, aber in anderer Hinsicht beachtenswerth sind die Versuche *Faraday's* mit schwingenden Stimmgabeln, die er mit der Oberfläche verschiedener Flüssigkeiten in Berührung brachte, s. *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 216.

b) mit *krummen.* Der Ton eines gewöhnlichen Bierglases wird fast eine Octave tiefer, wenn es aus der Luft in Wasser getaucht wird, während er bei weiten, wie eine Schaale gestalteten, mit Füssen versehenen, Gläsern um eine Duodecime sinken kann. Die Vertiefung wird um so beträchtlicher sein, je mehr dünne, transversal schwingende Theile das Gefäss hat, je dünner die Wände und je grösser der Durchmesser ist.

Savart (19) bemerkt zugleich, durch tieferes Eintauchen des schwingenden Körpers werde der Ton nicht geändert, wenigstens so weit man mit dem Arme eintauchen könne; doch müsse man dem Boden des Gefässes, in welchem die Flüssigkeit enthalten ist, nicht zu nahe kommen, weil dieser eine Rückwirkung hervorbringen könne. Demnach würde die Quantität der tropfbaren Flüssigkeit ohne merklichen Einfluss sein. Ein solcher merklicher Einfluss ihrer Quantität aber findet nach Chladni (20) Statt, wie man aus folgenden Worten erkennt: »Wenn man eine Glocke oder ein klingendes Gefäss mit Wasser anfüllt, oder wenn man einen klingenden Körper unter Wasser taucht, so erhält man tiefere Töne, als wenn die Schwingungen in der Luft geschehen. Es werden nämlich die Schwingungen des klingenden Körpers durch den Widerstand des Wassers, als einer dichtern Flüssigkeit, verzögert, eben so wie dieses auch bei einem Pendel geschieht. Je weiter man das Gefäss mit Wasser anfüllt, oder je tiefer man den klingenden Körper unter die Oberfläche des Wassers taucht, desto langsamer geschehen die Schwingungen; nach einem noch tiefern Untertauchen gibt der klingende Körper (weil die darüber befindliche Flüssigkeit allzu sehr darauf drückt) gar keinen bestimmbaren Klang mehr, sondern bloss ein klapperndes Geräusch. Manche Flüssigkeiten, wie z. B.

19) S. *Poggendorff's* Annal. a. a. O. S. 297. 20) Akust. S. 239.

Öl, Milch, brausender Champagnerwein u. s. w., sind dem Klange eines Gefässes weit mehr hinderlich, als das Wasser. «

§ 32.

3. *Zeitliche Quantität des Schalles, insbesondere des Klanges.*

Unter dieser Art seiner Quantität verstehen wir seine *Dauer.* Es hängt dieselbe ab

1) von der *Dauer der Schwingungen des schallenden Körpers.* Diese aber beruht

a) auf der *Beschaffenheit* 1) des *tönenden Körpers* selbst. So fand z. B. Mersenne ([1]), dass eine aus 12 Darmhäutchen verfertigte und durch 8 Pfund Gewicht gespannte Saite mit einer $\frac{1}{4}$ Linie dicken und mit $6\frac{3}{8}$ Pfd. gespannten Metallsaite den Einklang gab, dass aber die Darmsaite nur 40 Secunden, die Metallsaite 64 Sec. lang zitterte. Ein grosser Unterschied findet ferner z. B. zwischen der Dauer des Tons eines Stabes und der des Tons einer für sich allein, z. B. an einem Monochord, schwingenden Saite Statt. Der Ton der letztern dauert kaum 3 bis 4 Secunden, der einer guten Stimmgabel 25 bis 30 Secunden deutlich hörbar fort ([2]). — 2) des *seine Schwingungen erregenden.* — 3) desjenigen, *an welchem oder in welchem jener schwingt*, denn z. B. in einem dichtern Medium kommt der transversal schwingende Körper schneller zur Ruhe als in einem dünnern ([3]).

b) auf der *Bewegung* des die Schwingungen erregenden Körpers; denn auf der Art und Dauer die-

---

1) S. dess. Harmon. L. III. prop. 13. Vgl. *Gehler:* phys. Wörth. I. A. Elasticität S. 697. 2) *Fischer:* Versuche über die Schwingungen gespannter Saiten, in d. Abhandl. der Berlin. Akad. d. W. a. d. J. 1822 und 1823. Phys. Klasse S. 203 f. 3) Vgl. *Faraday's* Beobachtung über Stimmgabeln, in *Poggendorff's* Annal. Bd. 26. (102.) S. 246. und das § 31. Anm. S. 603 f. über die Retardation des Pendels Erwähnte.

ser Einwirkung beruht hauptsächlich die Dauer der Schwingungen. Hierbei muss man indess den die Schwingungen unmittelbar erregenden Körper von der äussern Kraft, die diesen selbst erst in Thätigkeit setzt, unterscheiden, deshalb nämlich, weil zwar meistens jener erregende Körper zu ruhen beginnt, so bald die äussere Kraft ruht, indem z. B. der Violinbogen keine Schwingungen mehr erregt, so bald die Hand aufgehört hat, ihn zu bewegen; gewisse Instrumente dagegen so eingerichtet sind, dass diese äussere Kraft bereits ruhen kann, während der erregende Körper seine Schwingungserregung noch fortsetzt. Das Letztere ist der Fall bei den Zungenpfeifen; denn der dadurch erzeugte Ton dauert so lange mit gleicher Stärke fort, als die Verdichtung der Luft in der Windlade gleichförmig erhalten wird, und es ist folglich zur gleich starken Fortdauer des Tones in diesem Instrumente nicht nöthig, dass auch die äussere Kraft, welche die Verdichtung der Luft in der Windlade bewirkte, ununterbrochen fortwirke ([4]).

2) von der *nächsten oder entferntern Umgebung* des schallenden Körpers, ob nämlich diese einen *Nachhall* bewirkt, wodurch der Schalleindruck verlängert wird, oder ob ein solcher nicht erfolgt (s. S. 54.).

§ 33.

Quantität des Klanges.

In dem Bisherigen betrachteten wir die 3 Arten der Quantität: die *intensive*, *graduelle* und *zeitliche*, zwar auch weniger in Bezug auf den *Schall* überhaupt, als in besonderem Bezug auf diejenige Art desselben, welche *Klang*

---

4) S. *W. Weber* in *Poggendorff*'s Annal. Bd. 16. (92.) S. 198.

heisst (s. S. 66 f.); allein wir hielten uns dabei vorzugsweise an die *verschiedenen Körper* selbst, welche ihn hervorbringen, um zunächst die verschiedenen *Ursachen* des Klanges zu verdeutlichen. Es bleibt daher noch ein weites Feld der Betrachtung jetzt übrig, wo wir, mit Ausschliessung alles dessen, was nicht *Klang* ist, nochmals jene 3 Quantitätsarten, *Stärke*, *Höhe* und *Dauer*, durchgehen, uns aber dabei vorzugsweise an die *Wirkung*, den *Klang* selbst, halten wollen.

§ 34.

1. Stärke des Klanges.

Hierbei kommt zweierlei in Betracht:

a) die Stärke eines *einzelnen* Klanges in seiner *Abgesondertheit* von andern;

b) die Stärke eines *einzelnen* Klanges in seiner *Verbindung* mit andern.

Abgesehen davon, dass die Stärke überhaupt etwas Relatives ist, wollen wir, um eine kurze und bestimmte Bezeichnung beider zu haben, die Stärke bei a. die *absolute*, die bei b. die *relative* nennen.

a) *Absolute Stärke eines Klanges.*

Man hat *Dynamometer* oder *Stärkemesser* für vielerlei Kräfte der Natur, aber noch keinen *Tonstärkemesser*. Die Wichtigkeit und den Nutzen eines solchen hat man längst erkannt. Dieses sowohl wie die Möglichkeit der Construction eines solchen Messers hat namentlich Jürgensen ([1]) zu zeigen sich bemüht. Der geniale Physiker W. Weber hat dazu 2 Mittel vorgeschlagen:

1) *Zungenpfeifen mit durchschlagenden Zungen.* Die *Stärke* des dadurch erzeugten Tones hängt von dem

---

1) S. den Aufs. dieses Instrumentenmachers und Mechanicus in Schleswig, in d. Leipzig. Allgem. musik. Zeitung Jahrg. 1803. No. 42. S. 701 ff.

Unterschiede der Dichtigkeit der äussern (auf die äussere Fläche der Zungenplatte drückenden) und innern (auf die innere Fläche der Platte drückenden) Luft, also von einem bekannten oder leicht auszumittelnden Umstande ab, und die Zungenpfeife könnte daher ein Mittel werden, die Intensität der Töne zu messen (2).

2) *Aufgespannte Membranen.* Man spannt ein ganz feines Blatt Papier, welches man, damit die Feuchtigkeit der Luft keinen Einfluss darauf habe, mit Firniss überzieht, oder ein Goldschlägerhäutchen über die Öffnung eines 4 Zoll weiten Gefässes, und streuet etwas Sand darauf. Nähert man diese Membran einem tönenden Instrumente, so bewegt sich der Sand. Es gibt aber für jeden Ton eine Entfernung, wo der Sand sich zu bewegen aufhört. Hat man diese Grenze, über welche hinaus der Sand nicht mehr bewegt wird, für einen bestimmten Ton aufgefunden, und rückt, um jede Irrung zu vermeiden, die Membran noch etwas über diese Grenze hinaus, verstärkt darauf den Ton so wenig, dass es das Ohr nicht wahrzunehmen vermag, so gerathen dennoch die Sandkörner sogleich in Bewegung. Will man dieses Verfahren wirklich zur Untersuchung der Intensität des Schalles anwenden, so muss man die Versuche an einem ganz stillen Orte machen (3).

b) *Relative Stärke eines Klanges.*

Hiermit bezeichnen wir das Verhältniss der Stärke eines Klanges zu der eines oder mehrerer anderen mit ihm verbundenen Klänge. So wie nämlich in der Rede nicht alle Silben mit gleicher Stärke, sondern gewisse Silben stärker, andere schwächer ausgesprochen werden, so werden auch in der Musik die verschiedenen Töne mit verschiedener

---

2) S. *Poggendorff's* Annal. Bd. 16. (92.) S. 198. 3) S. *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 312.

Stärke vorgetragen. Bei der Rede sowohl als in der Musik nennt man die stärkere Hervorhebung gewisser Silben oder Töne *Betonung*, *Accentuation*, *Accent*, und theilt diesen Accent in 3 Arten, deren erste man in der Rede- und Dichtkunst den *grammatischen* oder *prosodischen*, in der Musik den *grammatischen* oder *rhythmischen Accent*; die zweite Art in beiden den *rhetorischen*; die dritte den *pathetischen Accent* nennt ([4]). Der *grammatische Accent* fällt stets auf den ersten Ton jedes Taktes. Man nennt diesen Accent auch *Zeitgewicht*, *Taktgewicht*, und die dadurch benachdruckte Zeit des Taktes *schwere*, *gute*, *starke* oder *lange Zeit*, auch *Niederschlag*, *Niedertakt*, *Thesis*; die darauf folgende dieses Nachdrucks ermangelnde Zeit desselben Taktes *leichte*, *schlechte*, *schwache* oder *kurze Zeit*, auch *Seiten*- und *Aufschlag*, *Auftakt*, *Arsis* ([5]). Von diesem grammatischen unterscheiden sich die

---

4) So theilt namentlich *Sulzer*: Theorie I. A. Accent S. 12 ff. den Accent ein. *Koch*: mus. Lex. A. Accent S. 49 ff. weicht nur darin von ihm ab, dass er den *rhetorischen* Accent den *oratorischen* nennt. In dem »Kurzgefassten Handwörterbuche über die schönen Künste von einer Gesellschaft von Gelehrten.« Leipzig b. Voss und C. 1795. Bd I. werden u. d. W. Accent S. 9. folgende musikalische Accente aufgestellt: ein *grammatischer*, ein *logischer* und ein *rednerischer* oder *pathetischer*. Aus dem dabei Bemerkten führe ich nur an, dass der *logische Accent*, dem Verf. zufolge, auf Einschnitte, Cäsuren, überhaupt auf die Richtigkeit des Rhythmus sich bezieht. *G. Weber* A. Betonung, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. IX. S. 338 ff., unterscheidet nur 2 Arten: den *grammatischen* oder *rhythmischen* und den *rhetorischen* oder *pathetischen*. — Über den sprachlichen Accent s. das Ausführlichere unter Andern bei *Falkmann*: Declamatorik. Bd. I. S. 209 ff. Weitläufiger als hier geschehen kann, werde ich diesen Gegenstand in meiner Rhythmik behandeln. 5) *Sulzer* a. a. O. S. 15. — *Koch* a. a. O. S. 49 ff. — *G. Weber*: Theorie der Tonsetzkunst I. S. 106 ff. 127 ff. — *Fink*: musikal. Grammatik S. 73. 83. — vgl. auch *Opelt* S. 28 f. — Die Benennungen *Nieder*-, *Seiten*- und *Aufschlag* rühren von dem Gebrauche her, beim Taktschlagen den Anfang eines jeden Taktes durch *Niederschlagen* der Hand oder des Taktirstabes anzuzeigen, bei dem letzten Takttheile sie zu heben, bei den etwa noch zwischen beiden liegenden dieselben nach der rechten oder linken Seite, oder nach beiden zu bewegen. Den nämlichen Ursprung haben die Benennungen *Niedertakt* und *Auftakt*. Der letztere Ausdruck hat indess im Sprachgebrauche der Musiker bekanntlich eine Beschränkung erhalten, indem sie nur dann, wenn ein Tonstück nicht mit vollem Takte, also nicht mit dem Niedertakte oder der guten Taktzeit, sondern mit der schlechten Taktzeit anfängt, diese *erste* schlechte Taktzeit des ganzen Tonstücks, welche wie die folgenden mit dem Aufheben der Hand oder des Taktirstabes angedeutet wird, *Auftakt* nennen, vgl. *Fink* a. a. O. S. 83. — Die beiden Wörter *Thesis* und *Arsis* werden sehr häufig in umgekehrter Bedeutung gebraucht, nämlich *Arsis* der benachdruckte, *Thesis* der nicht benachdruckte Theil einer rhythmischen Abtheilung genannt. Mehr darüber wird meine Rhythmik enthalten.

rhetorischen und *pathetischen Accente*, von welchen die letztern verstärkte Grade der erstern sind, dadurch, dass sie im Vortrage weit mehr hervorgehoben werden und nicht auf einen bestimmten Theil des Taktes eingeschränkt sind. Sie sind gleichsam die höchsten Lichter und Drucker des Tongemäldes; sie sind es, durch welche die durch die Melodie ausgedrückte Empfindung dem Hörer erst recht fasslich wird. Man bezeichnet sie bekanntlich durch Beifügung von *piano (p.; pianissimo, pp.)*, *forte (f.; fortissime, ff.)*, *rinforzato*, (d. h. verstärkt, *rf.*), *sforzato* (d. h. mit verminderter Stärke ([6]), *sf.*), *crescendo, decrescendo* (die beiden letztern werden gewöhnlich durch besondere Zeichen vertreten). Der grammatische Accent wird gar nicht bezeichnet.

§ 35.

2. *Höhe des Klanges.*

Für diese Quantität des Klanges besitzt unsere Sprache, wie schon oben erwähnt ist, einen besondern Namen. Denn einen Klang bloss von Seiten der *Geschwindigkeit der Schwingungen* des klingenden Körpers, oder, mit andern Worten, von Seiten der *Geschwindigkeit der Klangpulse* betrachtet, nennen wir *Ton*. Dieser ist mithin ein Klang mit blosser Rücksicht auf seine Höhe betrachtet. Er heisst *hoher Ton*, wenn die Schwingungen schnell; *tiefer Ton*, wenn sie langsam geschehen. Ein Ton ist aber nicht absolut hoch oder tief, sondern nur im Vergleich mit andern, deren Schwingungen langsamer oder schneller sind ([1]).

Anmerkung 1. Der Ausdruck »*Klangpulse*«, dessen sich Opelt (Über die Natur der Musik S. 9.) bedient, unterscheidet sich von dem Ausdrucke »*Schwingungen*« dadurch, dass er nicht auf die Bewegungen des den Klang erzeugenden Körpers, sondern auf die Einwirkung dieser Bewegungen auf das Ohr sich be-

---

6) So nach *G. Weber* A. Betonung a. a. O. S. 342., während es *Koch* a. a. O. S. 54. fälschlich durch »*aufgesprengt*« übersetzt.

1) *Chladni* S. 3. — *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 2.

zieht. Jede Schwingung eines solchen Körpers erzeugt eine Welle in dem ihn umgebenden Medium, die, wenn sie zum Ohre gelangt, an dasselbe anschlägt (vgl. § 28 b.). Daher läuft es auf Eins hinaus, ob man die Schwingungen des Körpers selbst, die er während eines Klanges vollbringt, oder die dadurch erregten, an das Ohr anschlagenden Wellen oder Pulse (daher *Klangpulse* genannt) zählt.

Anmerkung 2. Nicht immer wird die zuvor angegebene Bedeutung des Wortes »*Ton*« festgehalten, sondern dieses zuweilen auch da gebraucht, wo nicht von der Höhe des Klanges, sondern von andern Eigenschaften desselben die Rede ist. Denn man sagt z. B. nicht selten von einem Instrumente: »es hat einen starken, einen schönen, angenehmen, zarten, oder einen rauhen Ton«, womit man doch nur die Stärke, Fülle, oder überhaupt das eigenthümliche Gepräge (timbre) seines *Klanges* meint. Umgekehrt bedient man sich des allgemeinern Namens *Klang* auch da, wo nur die Quantität der Höhe in Betracht kommt, folglich das Wort *Ton* die bestimmtere Bezeichnung sein würde, so in verschiedenen Zusammensetzungen, wie *Einklang, Dreiklang, Hauptklang, Klangstufe* u. dgl. S. G. Weber: Theorie d. T. I. S. 14. und Opelt a. a. O. S. 9.

Die Höhe eines Klanges beruht demnach auf der Geschwindigkeit seiner Schwingungen. Der Grad dieser Geschwindigkeit bedingt folglich den Grad der Tonhöhe. Diesen Grad kann man auf dreierlei Weise bestimmen:

1) man setzt eine bestimmte Zeit und sieht zu, *wie viele Schwingungen* der klingende Körper in derselben vollbringt;

2) man setzt eine einzelne Schwingung oder eine andere bestimmte Zahl von Schwingungen, und beobachtet, *wie viele Zeit* der klingende Körper zur Vollbringung dieser einen oder mehrern Schwingungen bedarf;

3) man setzt eine bestimmte Zahl von Schwingungen, die in einer gewissen Zeit vollbracht werden sollen, oder eine bestimmte Zeit, binnen welcher eine einzelne oder eine andere bestimmte Zahl von Schwingungen vollbracht werden soll, und fragt, *wie gross* ein gewis-

ser Körper sein müsse, wenn er fähig sein soll, bei seiner einfachsten Schwingungsart die gesetzte Schwingungszahl in der gesetzten Zeit zu vollbringen. Da dieses aber bei Körpern von mehrern Dimensionen verwickelter wird als bei solchen, wo nur Eine Dimension in Betracht kommt, so beschränkt man sich bei Untersuchung dieser Grösse auf solche Körper, welche am ersten gestatten, dass man nur Eine Dimension beachte. Dieses sind die *Saiten.* Denn obgleich nach § 29. auch die Dicke hier Einfluss auf den Ton hat, und daher als zweite Dimension in Betracht kommt, so ist es doch gerade bei den Saiten am leichtesten, Saiten von gleicher Dicke anzunehmen, so dass diese Dimension dann ausser Acht gelassen werden kann und bloss nach der *Länge* gefragt zu werden braucht, deren eine Saite bedarf, um in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Zahl von Schwingungen zu vollbringen.

Jede dieser verschiedenen Bestimmungsarten des Grades der Tonhöhe müssen wir jetzt noch genauer betrachten.

§ 36.

1. *Bestimmung der Tonhöhe nach der Schwingungszahl.*

Schon S. 6 f. und § 28 [b]. ist erwähnt, dass die Schwingungen eines Körpers, wenn sie einen vernehmbaren Ton erzeugen sollen, innerhalb gewisser Grenzen der Schnelligkeit sich halten müssen, dass namentlich, wenigstens bei der gewöhnlichen Art Töne hervorzubringen, 30 bis 32 Schwingungen innerhalb 1 Secunde das Minimum der dazu erforderlichen Schwingungszahl sind, so dass der durch 30 oder 32 Schwingungen in 1 Secunde erzeugte Ton der tiefste vernehmbare ist. Mit jedem Anwachsen der Zahl der pendelartig auf einander folgenden Schwingungen, die ein klingender Körper in 1 Secunde vollbringt, steigt die Höhe seines Tones.

Hierbei fragt man:

1) *wie viele Schwingungen* macht ein Körper, der einen gewissen Ton hervorbringt, in 1 Secunde?

2) *wie verhält sich die Zahl der Schwingungen*, die ein Körper bei einem gewissen Tone in einer bestimmten Zeit hervorbringt, zu der Zahl der Schwingungen, die derselbe oder ein anderer Körper bei einem von jenem verschiedenen Tone in derselben Zeit vollbringt.

Die Beantwortung der erstern Frage gibt die *absolute Schwingungszahl* eines Tones in 1 Secunde; die Beantwortung der zweiten Frage gibt die *relative Zahl* oder *Verhältnisszahl* eines Tones im Vergleich mit einem andern Tone in einer bestimmten Zeit.

a) *Absolute Schwingungszahlen der Töne.*

Hier wird natürlich zuerst gefragt: wie erforscht man die Zahl der Schwingungen, die ein Körper bei einem gewissen Tone in 1 Secunde macht? Man hat hierzu mehrere Mittel angewandt, die man in 3 Classen theilen kann.

1) Es werden *klingende Körper* dazu angewandt:

a) *einer*

α) eine gleichförmig dicke *Metallsaite* spannt man auf ein verticales Monochord auf, an welchem man die Saitenlänge zwischen den 2 Stegen mittelst eines Nonius bis auf 0,001 Zoll messen kann, bringt ihren Ton mit dem einer reinen Stimmgabel zum Einklang und berechnet dann die Anzahl der Schwingungen der Saite. Zu diesem Ende müssen aber die zur Rechnung nöthigen Grössen mit grosser Schärfe bekannt sein, und ausserdem möglichst viele Versuche von einerlei Art gemacht werden, um aus den verschiedenen Resultaten dann das Mittel zu nehmen, und so der vollsten Richtigkeit wenigstens so

nahe als möglich zu kommen. Dieses Mittel hat Fischer [1] mit grosser Genauigkeit angewandt.

β) Ein *metallener Stab* von gleichmässiger Dicke, der gegen 40 Zoll lang, $\frac{1}{2}$ Zoll breit und $\frac{1}{10}$ Zoll dick ist, wird an einem Ende in einen Schraubenstock fest eingeklemmt, und in seine einfachste transversale Schwingungsart versetzt (vgl. § 20.). Er schwingt dann wegen seiner bedeutenden Länge langsam genug, um seine Schwingungen zählen zu können und bringt eben deshalb auch keinen Ton hervor. Verkürzt man aber das freie Ende bis auf ein Paar Zoll, so kann man durch Streichen mit einem Violinbogen einen deutlichen Ton hervorbringen, und durch Verlängerung und Verkürzung kann man es dahin bringen, dass der Stab einen bestimmten Ton gibt. Aus der Länge dieses tönenden Theiles kann die Anzahl der Schwingungen, die derselbe in 1 Secunde macht, gefunden werden, da nach Theorie und Erfahrung bei demselben (überall gleich dicken) Stabe die Dauer der Schwingungen gerade, also die Anzahl der Schwingungen in gleicher Zeit umgekehrt, wie die Quadratzahlen der Länge sich verhält. Dieses von Chladni [2] vorgeschlagene Mittel lässt deswegen kein besonders scharfes Resultat erlangen, weil man, wie fest man auch den Stab einklemmen mag, doch nicht verhindern kann, dass ein kleines Stück des eingeklemmten Theiles mitschwinge, so dass demnach die wahre Länge des schwingenden Theiles sich nicht genau messen

---

1) S. s. Abh.: »Versuche über die Schwingungen gespannter Saiten«, in d. Abh. der Berlin. Akad. d. Wissensch. A. d. J. 1822. und 1823. Phys. Klasse S. 196 ff. Wie *Chladni* die absolute Schwingungszahl der Saiten berechnet hat, s. Akust. S. 72 f. 2) Akust. S. 35 ff. vgl. *Fischer* in d. angef. Abh. S. 214 f.

lässt. — Später wandte er zu solchen Versuchen, bei übrigens gleichem Verfahren, eine *Tafeluhrfeder* an, weil sich durch eine solche sehr genaue Resultate erhalten lassen ([3]).

b) *zwei* klingende Körper, die verschiedene Töne geben, bei deren Schwingungen folglich sogenannte *Schwebungen* eintreten. So wie man nämlich, wenn die nicht ganz übereinstimmenden Pendel zweier Uhren neben einander schwingen, bald Zeiträume beobachtet, wo die Pendelschläge beider Uhren zwischen einander fallen, bald Zeiträume, wo die Pendelschläge beider Uhren zusammenfallen, und deswegen einen stärkern Eindruck auf das Ohr machen; eben so machen auch von Zeit zu Zeit die Schwingungen zweier neben einander tönenden Körper, bei denen nur ein geringer Unterschied ihrer Tonhöhe Statt findet, auf das Ohr einen stärkern Eindruck, so oft die Maxima ihrer Schwingungen zusammenfallen, und diese stärkern Eindrücke auf unser Ohr nennen wir *Schwebungen*. Diese sogenannten Schwebungen leisten nun für das Ohr dasselbe, was der Vernier bei Längen- und Winkelmessungen leistet. Durch den Vernier wird eine und dieselbe *Linie* 2 Mal in gleiche Theile getheilt, so dass sie bei der zweiten Theilung eine Unterabtheilung mehr als bei der ersten Theilung erhält. Durch die Schwingungen zweier Körper, welche Schwebungen hervorbringen, wird ein und derselbe *Zeitraum* zwiefach in gleiche Theile getheilt, so dass die eine Theilung eine Unterabtheilung mehr als die andere erhält. Wie man nun beim Vernier

---

3) *Gilbert's* Annal. Bd. V. S. 1—9. — *W. Weber*: Akust. S. 8 f. — *Löhr*: über d. *Scheibler*'sche Erfindung überhaupt und dessen Pianoforte- und Orgel-Stimmung insbesondere (Crefeld, Schüller 1836) S. 8 f.

das Zusammenfallen zweier Striche beobachtet, so beobachtet man die Schwebungen als das Zusammenfallen zweier Schwingungen ([4]). Mittelst der Beobachtung dieser Schwebungen lassen sich die absoluten Schwingungszahlen beider Töne, in deren Schwingungen jene Schwebungen entstehen, genau finden. Als klingende Körper sind zu diesen Versuchen angewandt

α) *Stimmgabeln.* So von Scheibler ([5]).

β) *Orgelpfeifen.* So von Sauveur ([6]).

2) Es werden *keine klingenden* Körper dazu angewandt, sondern solche, die bloss *Stösse* verursachen, ohne selbst zu schwingen. Hieher gehören mehrere § 28 [b]. genauer bezeichnete Apparate:

a) die *Sirene*, und zwar sowohl die von Cagniard de Latour, als auch die von Opelt erfundene;

b) die *gezähnten Räder* Savart's, welche bei ihrer Drehung entweder mit ihren Zähnen gegen einen auf einer Unterlage befestigten dünnen Körper schlagen, oder an einem seitwärts angehaltenen Kartenblatte dicht vorbeistreichen, aber ohne es zu berühren, oder welche bei ihrer Drehung durch ihre Zähne einen Luftstrom, der in einer gegen die Ebene des Rades senkrechten Richtung durch eine enge Röhre gegen die Zähne geblasen wird, ganz so wie bei der Sirene abwechselnd durchlassen und hemmen.

---

4) *W. Weber* in *Poggendorff's* Annal. Bd. 14. (90.) S. 399 f., und Cäcilia Bd. XI. S. 191. und in s. Akust. §. 12 ff. Vgl. *Fischer* a. a. O. S. 203 ff. Veranschaulicht wird das eben Gesagte durch die Abbildung Fig. 1., welche *Scheibler* seiner Schrift: Über mathemat. Stimmung, Temperatur und Orgelstimmung nach Vibrations-Differenzen oder Stössen beigefügt hat. 5) S. d. angef. Annal. Bd. 29. (105.) S. 390 ff. 6) S. d. Histoire de l'Académie de Paris 1700. pag. 134 sqq. Vgl. *Chladni* S. 37. — *Fischer* a. a. O. S. 212 ff. — *Muncke* in d. angef. Annal. Bd. 29. (105.) S. 400 ff.

Diese letztern Methoden möchten wohl von allen die kürzesten sein; denn es bedarf, um die absolute Schwingungszahl eines so hervorgebrachten Tones zu finden, nur einer Multiplication der Löcher der Sirene oder der Zähne des Rades mit der Zahl der Umdrehungen der Scheibe der Sirene oder des Rades in 1 Secunde. Die letztere Zahl lässt sich mittelst eines Zählers oder Zeigerwerkes, womit man den sich drehenden Körper in Verbindung setzen kann, leicht finden (7).

3) Es werden ein *klingender* und ein *nicht klingender* Körper zugleich angewandt, und die Schwingungszahl des erstern mittelst des letztern bestimmt. Hieher gehört das von Plateau 1837 erfundene, auf dem Principe des gleichfalls von ihm erfundenen Phenakistikops beruhende Instrument, womit man 1) die Gestalt eines belebten Körpers, der eine zu rasche Bewegung besitzt, als dass ein bleibender Eindruck davon auf das Auge hervorgebracht werden könnte, zu bestimmen vermag, indem der Körper dadurch scheinbar in den Zustand der Ruhe versetzt wird; womit man 2) alle Eigenthümlichkeiten der Bewegung beobachten kann, indem sich die Geschwindigkeit der Bewegung scheinbar beliebig vermindern lässt, und womit man endlich 3) die wirkliche Geschwindigkeit des Gegenstandes ermitteln kann. Der Erfinder hat zu diesem Zwecke eine schwarze Scheibe aus Metall oder Pappendeckel, gegen deren Umfang hin, in gleichen Entfernungen von einander, nach der Richtung von Radien laufende Spalten ausgeschnitten sind, mit einem Uhrwerke in Verbindung gebracht, und dieses Uhrwerk so eingerichtet, dass sich dessen Geschwindigkeit nach Belieben

---

7) Vgl. *Fechner*: Repert. I. S. 251 ff. 335 ff. — *Baumgartner* S. 229 f. und Supplbd. S. 370 f. — *Biot* II. S. 105 f.

abändern lässt. Wenn man nun z. B. eine in Schwingungen befindliche Saite durch die umlaufende Scheibe betrachtet, so wird, wenn die Geschwindigkeit der Scheibe eine solche ist, dass jeder ihrer Ausschnitte genau in dem Augenblicke an dem Auge vorübergeht, in welchem sich die Saite an dem einen Ende ihrer Schwingung befindet, das Auge die Saite immer nur in ganz identischen Stellungen sehen können; und da die Spalten mit solcher Geschwindigkeit auf einander folgen, dass sich die einzelnen von dem Auge oder vielmehr von der Retina empfangenen Eindrücke an einander knüpfen, so wird daraus folgen, dass die Saite dem Auge als vollkommen unbeweglich erscheint, und dass man mithin über die wirkliche Gestalt des in Bewegung befindlichen Körpers Aufschluss erhält. Vermindert man die Geschwindigkeit der Scheibe, so wird die Saite dagegen nicht mehr als unbeweglich erscheinen, sondern als in einer Bewegung begriffen, welche viel langsamer von Statten geht, als ihre wirkliche Bewegung. Man kann daher mit dem neuen Instrumente eine sehr rasche Bewegung scheinbar in eine so langsame umwandeln, als man will und als man es für nöthig findet, um die verschiedenen, bei der Bewegung Statt findenden Umstände zu erforschen. Was die Bestimmung der wirklichen Geschwindigkeit eines Gegenstandes, z. B. der Zahl der Schwingungen, welche eine *Saite* innerhalb einer Secunde macht, betrifft, so variirt man, nachdem man dem Instrumente vorher eine beliebige Geschwindigkeit gegeben hat, diese Geschwindigkeit so lange, bis der Gegenstand unbeweglich erscheint, worauf man dann die Zahl der Umdrehungen notirt, die die Scheibe innerhalb der Einheit der Zeit vollbringt. Das Instrument ist zu diesem Zwecke mit einem Zähler ausgestattet. Ist dieses geschehen, so variirt man seine Geschwindigkeit abermals,

bis der Gegenstand unbeweglich erscheint, und notirt die der Zeiteinheit entsprechende Zahl der Umgänge. Die Differenz zwischen den Zahlen dieser Umgänge getheilt durch deren Produkt und durch die Zahl der in die Scheibe geschnittenen Spalten gibt dann die Zeit, welche zwischen der zweimaligen Rückkehr des Gegenstandes in eine und dieselbe Stellung verflossen ist ([8]).

Anmerkung. Ausführlicher findet man die verschiedenen Mittel, die Schwingungen zu zählen, in W. Weber's Akustik S. 6—15. erörtert. Die von ihm S. 15. erwähnten optischen Erscheinungen eines an der Spitze des frei schwebenden Endes polirten Stabes, welche gleichfalls zur Schwingungszählung benutzt werden können, vergleiche man mit dem, was § 20. S. 174 ff. über dergleichen Erscheinungen gesagt ist.

Nachdem so die verschiedenen Mittel zur Auffindung der absoluten Schwingungszahlen angegeben sind, würden jetzt die mittelst dieser Methoden aufgefundenen absoluten Schwingungszahlen selbst für die verschiedenen Töne anzugeben sein. Diese Angabe unterliegt aber noch einer andern Schwierigkeit, die in der *Verschiedenheit der Höhe der Stimmung* besteht. Bei dieser Verschiedenheit lassen sich 3 Arten unterscheiden: 1) eine *zeitliche*, 2) eine *örtliche* und 3) eine *instrumentale.*

1) Eine *zeitliche Verschiedenheit der Stimmhöhe* findet Statt in sofern, als man ehemals die Instrumente nicht so hoch zu stimmen pflegte als jetzt ([9]).

2) Eine *örtliche Verschiedenheit der Stimmhöhe* ersieht man aus Folgendem:

a) Bei der Stimmhöhe, wie sie in *Berlin* beim Theater herrscht, gehören zu $\bar{a}$ 874 Schwingungen in 1 Secunde.

---

8) Diese Beschreibung findet man, aus dem Mémorial encyclopédique, Januar 1837. S. 7. entnommen, in *Dingler*'s polytechnischem Journal Bd. LXIV. Heft I. Erstes April-Heft 1837. (Stuttgart, J. G. Cotta'sche B.) unter den Miscellen S. 71 f.

9) S. *Chladni* S. 34. — *Fischer* a. a. O. S. 194 f. 213. 215.

b) In *Paris* herrscht nicht nur überhaupt eine von der eben angegebenen verschiedene, sondern es weichen auch die verschiedenen Orchester dieses Ortes unter sich wieder ab: bei der *Grand Opéra* erfordert das $\bar{a}$ 862; beim *Théâtre Feydeau* (auch *Opéra comique* genannt) erfordert es 816; beim *Théâtre italien* 848 Schwingungen in 1 Secunde. So wenigstens nach Fischer's ([10]) Angabe. Nach der von Scheibler ([11]) entsprechen dem $\bar{a}$ beim Orchester der *Opéra* 853,47 oder, einer andern Stimmgabel desselben Orchesters zufolge, 867,47; bei dem *Conservatoire, Concert* 869,85, bei dem *Conservatoire, Opéra italien* 881,40, und nach einer früher aus Paris erhaltenen Stimmgabel 878,67 Schwingungen.

c) In *Wien* entsprechen nach Scheibler ([12]), den 6 von da erhaltenen Stimmgabeln zufolge, dem $\bar{a}$ folgende verschiedene Schwingungszahlen: 867,33; 872,67; 878,30; 880,20; 880,67; 889,74.

d) In *Petersburg* entsprachen nach Sarti's Untersuchungen 1796 dem $\bar{a}$ 872 Schwingungen in 1 Secunde ([13]).

3) Eine *instrumentale Verschiedenheit der Stimmhöhe* findet in der praktischen Musik Statt, indem man 3 verschiedene Normen der Stimmhöhe der Instrumente unterscheidet:

a) den *Kammerton.* Dieses ist die allgemein gebräuchliche Stimmhöhe der Saiten- und Blasinstrumente, nach welcher man neuerdings auch anfängt die Or-

---

10) A. a. O. S. 211. Er gibt indess nicht unmittelbar diese Schwingungszahlen des $\bar{a}$, sondern die des um eine Octave tiefern a an, aus denen ich jene erst berechnet habe.
11) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 29. (105.) S. 395.
12) Ebend. S. 396.
13) Er selbst gibt die Hälfte an, 436 Schwingungen; da er aber darunter Doppelschwingungen, die aus einem Hin- und Rückgange zusammengesetzt sind, versteht, so beträgt die Zahl der einfachen Schwingungen, nach denen hier überall gerechnet wird, das Doppelte, 872. S. *Chladni* S. 34 f.

geln zu bauen. An manchen Orgeln findet man besondere Register, die nach dieser Stimmhöhe gebaut sind und daher *Kammertonregister* heissen, während die übrigen Register im Chortone stehen.

b) den *Chorton*, der einen Ton höher steht als jener. In ihm stehen fast alle ältere Orgeln, und auch die meisten neuern werden nach dieser Stimmhöhe gebaut. In diesem Tone stehen auch noch jetzt viele Posaunen, die man dann gewöhnlich Kirchenposaunen nennt.

c) den *hohen Chorton*, der noch einen Ton höher als der gewöhnliche Chorton, und 2 Töne höher als der Kammerton steht. Auch in diesem hohen Chortone wurden früher Orgeln gebaut und findet man deren noch (14).

Aus diesem Allen erkennt man sattsam, wie sehr es der Stimmhöhe an Übereinstimmung mangelt. Indessen war es in früherer Zeit noch schlimmer als jetzt. Denn vor hundert und mehr Jahren scheint man die Stimmung lediglich dem Gutbefinden der Verfertiger musikalischer Instrumente überlassen zu haben. Die alten Orgeln haben daher sehr verschiedene Stimmungen, und bei den meisten scheint eine unzweckmässige Sparsamkeit die Stimmung unmässig erhöht zu haben. Wollte man damals eine etwas genauere Stimmung festhalten, so bediente man sich der sogenannten *Stimmpfeife*, die aber nie etwas Genaues geben kann, da ihr Ton durch blosses stärkeres Blasen sehr beträchtlich erhöht wird. Durch die schätzbare Erfindung der *Stimmgabeln* hat zwar die Stimmung in ganz Europa eine viel grössere Bestimmtheit und Gleichförmigkeit erhalten; dessen ungeachtet finden hierin noch mannichfache Verschiedenhei-

---

14) S. *Nauе* A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S. 177. Ausführlicheres über den Ursprung dieser verschiedenen Stimmhöhen und ihrer Namen findet man in *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Chorton S. 327 f. u. d. W. Kammerton S. 822.

ten an verschiedenen Orten, ja sogar an verschiedenen Orchestern eines und desselben Ortes Statt, wie das oben über die örtliche Verschiedenheit der Stimmhöhe Angeführte beweist, denn eben jene Angaben stützen sich auf die untersuchten Stimmgabeln jener Orchester ([15]).

Dass diese Verschiedenheit der Stimmhöhe viele Nachtheile hat, leuchtet von selbst ein; denn man braucht nur an einen Umstand, an den Einfluss der Stimmhöhe auf die Dimensionen der musikalischen Instrumente zu denken, um eine vollkommene Übereinstimmung hierin höchst wünschenswerth zu finden. Man bedarf demnach eines *Normaltons*, wie ihn W. Weber nennt, oder eines *fixen Tones*, wie Chladni ihn bezeichnet, der als Normalmaass der Töne durchgängig angenommen würde. Schon Sauveur ([16]) 1700 trug den Gedanken vor, dass man einen solchen Ton annehmen möchte, damit ein Tonstück an jedem Orte und zu jeder Zeit in einerlei Tonhöhe ausgeführt werden könnte. Er schlägt dazu den Ton vor, welcher 100 Schwingungen (also, weil er Doppelschwingungen meint, 200 einfache Schwingungen) in 1 Secunde macht, und von einer 5 Pariser Fuss langen Orgelpfeife gegeben werden soll. Chladni ([17]) hält aber weder Pfeifen noch Saiten für tauglich dazu, weil beide zu vielen Veränderungen unterworfen seien. Für das untrüglichste Mittel, einen solchen festen Ton zu erlangen, hält er einen solchen Stab, wie er S. 619. unter den Mitteln zur Auffindung der absoluten Schwingungszahl beschrieben ist. Dass aber auch dieser keineswegs so untrüglich ist, ist bereits dort erwähnt. Auch die Stimmgabeln eignen sich nicht vollkommen hierzu, weil ihr Ton unmittelbar nach dem Anschlagen ein wenig tiefer ist als wenn sie verhallen. Nur eine nach W.

---

15) *Fischer* a. a. O. S. 194. 16) S. *Chladni* S. 37. 17) Ebend. S. 37. Vgl. s. Aufs.: »Eine neue Art, die Geschwindigkeit der Schwingungen bei einem jeden Tone durch den Augenschein zu bestimmen, nebst einem Vorschlage zu einer festen Tonhöhe«, in *Gilbert's* Annal. Bd. V. S. 1 ff.

Weber's Regeln compensirte Zungenpfeife kann als ein untrügliches Mittel gelten, zumal wenn sie durch Compensation nicht bloss gegen den Einfluss der Stärke oder Schwäche des Anblasens, sondern auch gegen den der Temperatur auf ihre Tonhöhe geschützt ist. Deshalb wird sie von ihm wie zu mehrern andern Untersuchungen, so vorzugsweise zur Feststellung eines Normaltons empfohlen, und zur Construction einer zu solchem Zwecke bestimmten Zungenpfeife noch besondere Regeln angegeben ([18]).

Anmerkung. Zur Stimmung pflegt man auch ein *Monochord* zu gebrauchen. Dieses wird auf zweierlei Art eingerichtet: *horizontal* und *vertical*. Nur eines der letztern Art ist zuverlässig, jedoch erst dann vollkommen, wenn es nach Fischer's und besonders W. Weber's Regeln eingerichtet ist. S. Fischer's Abh: »Versuche über die Schwingungen gespannter Saiten«, in d. Abh. d. Berlin. Akad. d. W. A. d. J. 1822 und 1823. Phys. Klasse S. 196 ff. und W. Weber's Abh. »Über die zweckmässige Einrichtung eines Monochords oder Tonmessers, und den Gebrauch desselben zum Nutzen der Physik und Musik«, in Poggendorff's Annal. Bd. 15. (91.) S. 1 ff. vgl. Bd. 14. (90.) S. 174. Bd. 17. (93.) S. 226 f. Cäcilia Bd. II. S. 113. Bd. V. S. 279. — Biot II. S. 19. — Vgl. was Scheibler: üb. mathem. Stimmung u. s. w. S. 8. darüber sagt.

Da nun, dem Obigen zufolge, noch keine allgemein geltende absolute Schwingungszahl für einen Ton vorhanden ist, so führe ich hier die verschiedenen (ungefähren) Angaben Chladni's ([19]) und Biot's ([20]), womit auch die von W. Weber ([21]) übereinstimmen; ferner die von

---

18) In *Poggendorff's* Annal. Bd. 14. (90.) S. 400 ff., Bd. 16. (92.) S. 193 ff.; in d. Cäcilia Bd. XI. S. 189 ff.
19) Akust. S. 34.
20) Bd. II. S. 16. — In jener Tabelle sind 1024 Fuss von *Biot* eigentlich bloss deshalb als Länge der Schallwelle Einer Schwingung in 1 Secunde, oder, was auf dasselbe hinauskommt, als Maass der Schallgeschwindigkeit in der Luft angenommen, weil diese Zahl eine Potenz von 2 ist, folglich ohne Rest sich fort und fort durch 2 dividiren lässt. Ohne diesen Umstand würden nach *Biot* 1026 Fuss haben angenommen werden müssen, oder, andern Angaben zufolge (s. § 29. S. 551. Anm. 2.), eine andere Zahl.
21) Er schreibt nämlich gleichfalls z. B. dem $\bar{c}$ 512 Schwingungen zu, in *Poggendorff's* Annal. Bd 16. (92.) S. 191. Bd. 24. (100.) S. 414. Als absolute Schwingungszahl für g werden von ihm (in *Schweigger's* und *Schweigger-Seidel's* Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 429.) 384, für $\bar{a}$ (in Cäcilia Bd. XI. S. 189.) 864,

Opelt und Scheibler (22) **und die von Cagniard de Latour** (23) **gegebenen an.**

Zahl der Schwingungen, welche der schallende Körper in 1 Secunde vollbringt.	Länge der dadurch hervorgebrachten Schallwellen.	Länge der an beiden Enden offenen Labialpfeife, welche diese Schwingungszahl in 1 Secunde machen und diese Töne geben kann.	Namen der Töne, welche jenen Schwingungszahlen entsprechen.
1	1024 Fuss		
2	512 »		
4	256 »		
8	128 »		
16	64 »		
32	32 »	32 Fuss	32-füssiges C
64	16 »	16 »	16- » oder Contra-C
128	8 »	8 »	8- » » grosses C
256	4 »	4 »	4- » » ungestrichenes c
512	2 »	2 »	2- » » eingestrichenes c̄
1024	1 »	1 »	1- » » 2-gestrichenes c
2048	6 Zoll	6 Zoll	$\frac{1}{2}$- » » 3-gestrichenes c
4096	3 »	3 »	$\frac{1}{4}$- » » 4-gestrichenes c
8192	18 Linien	18 Linien	$\frac{1}{8}$- » » 5-gestrichenes c
16384	9 »	9 »	$\frac{1}{16}$- » » 6-gestrichenes c

Aus dieser Tabelle, in welcher ich die von Chladni und die von Biot gegebene mit einander verbunden habe, erkennt man, was für Töne mit den in dem Bisherigen gebrauchten Namen gemeint sind, und eine Vergleichung der Columne der Töne mit der der Orgelpfeifen zeigt den

für d̄ (im angef. Jahrb. Bd. 21. (51.) S. 321.) 1152 Schwingungen in 1 Secunde angegeben. Man vgl. *Fischer*'s Bemerkungen über die für c gewöhnlich und auch in der obigen Tab. angenommene Schwingungszahl 256 (in der oben angef. Abh. S. 192.).

22) *Opelt*: üb. d. Natur d. Musik. S. 10. — *Scheibler*: üb. mathematische Stimmung, Temperaturen und Orgelstimmung nach Vibrations-Differenzen oder Stössen. (Crefeld 1837.) S. 1. 23) *W. Weber*: Akust. S. 10. — *Baumgartner* Supplbd. S. 371.

Ursprung der Benennungen 32-*füssiges*, 16-*füssiges C* u. s. w. Eine Vergleichung der Columne der Orgelpfeifen mit der der Länge der Schallwellen zeigt, warum die offenen Labialpfeifen gerade diese Längen haben müssen, und dient zur Erläuterung des § 29. S. 548 ff. über die Längen der Luftsäulen Gesagten.

Opelt gibt folgende Reihe, indem er annimmt, dass dem grossen C in 1 Secunde ungefähr 132 Schwingungen angehören:

C,	c,	g,	$\bar{c}$,	$\bar{e}$,	$\bar{g}$,	$\bar{\bar{c}}$ u. s. w.
132,	264,	396,	528,	660,	792,	1056.

Mit diesen Angaben stimmen die von Scheibler überein; da dieser aber die Schwingungszahlen aller einzelnen Töne der diatonischen Tonleiter für die Octave $\bar{c}$ — $\bar{\bar{c}}$ angibt, so führe ich auch diese zur Ergänzung jener hier noch besonders an:

$\bar{c}$,	$\overline{cis}$,	$\bar{d}$,	$\overline{dis}$,	$\bar{e}$,	$\bar{f}$,	$\overline{fis}$,	$\bar{g}$,	$\overline{gis}$,	$\bar{a}$,	$\bar{b}$,	$\bar{h}$,	$\bar{\bar{c}}$.
528,	$563\frac{1}{5}$,	594,	$633\frac{3}{5}$,	660,	704,	751,	792,	$844\frac{4}{5}$,	880,	938,	990,	1056.

Cagniard de Latour gibt folgende absolute Schwingungszahlen an, die er mittelst seiner Sirene gefunden:

a,	h,	$\bar{c}$,	$\bar{d}$,	$\bar{e}$,	$\bar{f}$,	$\bar{g}$,	$\bar{a}$,	$\bar{h}$,	$\bar{\bar{c}}$,	$\bar{\bar{d}}$.
427,	477,	511,	567,	630,	675,	765,	855,	955,	1023,	1125.

b) *Relative oder Verhältniss-Zahlen der Töne.*

Hierbei wird nicht gefragt: wie viele Schwingungen macht der einen gewissen Ton hervorbringende Körper in 1 Secunde überhaupt? sondern: wie viele Schwingungen erfordert ein Ton in irgend einer gewissen Zeit *im Verhältniss* zu einem mit ihm identischen oder einem andern Tone, oder *im Vergleich* mit diesem? Das gegenseitige Verhältniss der so verglichenen Töne nennt man ein *Intervall.* Da nun die Töne, welche mit einander verglichen werden, auch identisch sein können, so gibt es unter den Intervallen auch eine *Prime.* Andere schliessen diese von denselben aus, weil sie

sich unter Intervall einen Doppelklang vorstellen, welcher nothwendig einen Zwischenraum (intervallum) oder eine Stufe zwischen den beiden Tönen erkennen lassen müsse ([24]). Intervalle finden sowohl bei auf einander folgenden, als auch bei gleichzeitig hervorgebrachten Tönen Statt ([25]). Erstere könnte man *Intervalle der Melodie*, letztere *Intervalle der Harmonie* nennen. Diese Intervalle führen besondere Namen, welche den Grad der Entfernung der verglichenen Töne von einander auf folgende Weise angeben. Man geht, wenn man 2 Töne mit einander vergleicht, in der Regel von dem tiefern aus, nimmt ihn als Grundton und beginnt von ihm an aufwärts durch die verschiedenen Stufen der Tonleiter (s. § 47.) bis zu dem höhern Tone zu zählen. Liegt nur eine Stufe zwischen beiden, steht er mithin auf der höhern, zweiten Stufe, so heisst dieser zweite Ton die *Secunde*; liegen 2 Stufen zwischen beiden, steht also der zweite Ton auf der dritten Stufe, so heisst er die *Terz*. Hiernach sind die Namen, welche er auf den folgenden Stufen erhält: *Quarte*, *Quinte*, *Sexte*, *Septime*, *Octave*, *None*, *Decime*, *Undecime*, *Duodecime* u. s. w. von selbst verständlich. Der Name *Octave* bezeichnet hiernach denjenigen Ton, welcher, von einem gewissen Grundtone an gezählt, auf der achten Stufe steht, oder, mit andern Worten, um 7 Stufen von ihm entfernt ist. Da nun die Octave als eine höhere Potenz der Prime zu betrachten ist, und die von der Octave an aufwärts gezählten Stufen, als Wiederholungen der zwischen dem angenommenen Grundtone und der Octave liegenden Tonverhältnisse, die nur in ein höheres Gebiet transponirt sind, z. B. die *None* als Wiederholung und höhere Potenz der Secunde, die *De-*

24) *Opelt* a. a. O. S. 32. — *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Intervall S. 796 ff. Vgl. *Fink*: mus. Gramm. S. 187.

25) S. *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 57 ff. 197 ff. — Es ist daher *Chladni*'s Definition S. 7.: »Der Unterschied eines Tones von dem andern, oder die Verschiedenheit der Zahlen schwingender Bewegungen, *welche in einerlei Zeit geschehen*, nennt man ein *Intervall* oder ein *Tonverhältniss*«, zu eng, weil sie sich nur auf die Intervalle der Harmonie bezieht.

cime als Wiederholung der *Terz* u. s. w. gelten können, so sieht man den Zwischenraum zwischen dem Grundtone und der Octave als den Inbegriff der wesentlichen Intervalle an, und bezeichnet die Gesammtheit der innerhalb dieser Grenzen liegenden Töne gleichfalls mit dem Namen *Octave*, weil das Intervall der Octave der höhere Grenzpunkt dieses Gebietes ist, und man sagt demzufolge: der Ton liegt in dieser oder jener Octave. Diese verschiedenen Octaven selbst unterscheidet man wieder von einander durch die in der S. 629. aufgestellten Tabelle dem c gegebenen Beiwörter. — Da man jede Tonstufe wieder in verschiedene Unterabtheilungen theilt, so erhalten auch die obigen Intervalle, jenachdem sie auf dieser oder jener Unterabtheilung der durch ihren Namen bezeichneten Stufe stehen, verschiedene Beiwörter: *vermindert*, *klein*, *gross*, *übermässig* ([26]).

Bei der Angabe der diesen Tonverhältnissen entsprechenden Zahlen hört alles Schwanken, welches bei den absoluten Schwingungszahlen Statt findet, gänzlich auf, und

die

Verhältniss der Schwingungsschnelligkeit.

Schwingt	B	2	Mal	so	schnell	als	A,	so	ist	sein	Ton
»	»	3	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	4	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	5	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	6	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	8	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	9	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	10	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	12	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	15	»	»	»	»	»,	»	»	»	»
»	»	16	»	»	»	»	»,	»	»	»	»

26) S. d. unten folgenden Tabellen und *G. Weber* und *Koch* a. a. O.

die vollste mathematische Bestimmtheit tritt ein. So unterliegt es z. B. nie und nirgends einer Veränderung, dass der Ton eines Körpers, der doppelt so viele Schwingungen als ein anderer in derselben Zeit macht, also doppelt so schnell schwingt, um eine Octave höher ist als der des letztern langsamer schwingenden. Das Verhältniss der Octave zu ihrem Grundtone ist daher von Seiten der Schwingungszahl wie 2 : 1, oder, wie man durch einen Bruch es ausdrückt, $\frac{2}{1}$, d. h. der die Octave hervorbringende Körper macht genau 2 Schwingungen in dem nämlichen Zeittheile, in welchem der den Grundton gebende nur Eine macht. Schwingt ein Körper B 3 Mal so schnell, als ein anderer A, so beträgt der Unterschied der beiden Töne eine Octave und Quinte. Der höhere Ton verhält sich dann zum Grundtone wie 3:1 oder $\frac{3}{1}$, welchen Bruch man eben so wie den vorigen zu deuten hat. Zum leichtern Überblicke der bei einem solchen, in ganzen Zahlen fortschreitenden Schwingungsverhältnisse entstehenden Intervalle diene folgende Tabelle:

Intervalle des Grundtons.	Verhältnisszahlen der Schwingungen.
um 1 Octave höher	$\frac{2}{1}$.
» 1 » und 1 Quinte höher	$\frac{3}{1}$.
» 2 Octaven höher	$\frac{4}{1}$.
» 2 » und 1 grosse Terz höher	$\frac{5}{1}$.
» 2 » » 1 Quinte höher	$\frac{6}{1}$.
» 3 » höher	$\frac{8}{1}$.
» 3 » und 1 grosse Secunde höher	$\frac{9}{1}$.
» 3 » » 1 grosse Terz höher	$\frac{10}{1}$.
» 3 » » 1 Quinte höher	$\frac{12}{1}$.
» 3 » » 1 grosse Septime höher	$\frac{15}{1}$.
» 4 » höher	$\frac{16}{1}$.

Nehmen wir nun als Grundton dieser Intervalle C an, so ergibt sich folgende, den Zahlen dieser Tabelle von c an entsprechende Tonreihe:

C, c, g, $\bar{c}$, $\bar{e}$, $\bar{g}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{d}}$, $\bar{\bar{e}}$, $\bar{\bar{g}}$, $\bar{\bar{h}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$ u. s. w.
1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 16.

Anmerkung. Diese *relativen* Schwingungszahlen kann man, wenn man will, auch als *absolute* betrachten. Denn während bei den oben aufgestellten absoluten Schwingungszahlen die Secunde als Zeiteinheit angenommen, und die innerhalb derselben von einem Körper vollbrachten Schwingungen angegeben wurden, wobei, der obigen Tabelle zufolge, dem C 128 Schwingungen zukommen, kann man eben so zweckmässig $\frac{1}{128}$ Secunde als Zeiteinheit annehmen. Bei dieser Annahme ist 1 die absolute Schwingungszahl des den Ton C gebenden Körpers, 2 die absolute Schwingungszahl des den Ton c gebenden u. s. f. Vgl. Opelt: über die Natur der Mus. S. 9 f.

Beträgt aber die grössere Schnelligkeit der Schwingung des einen Körpers weniger als das Doppelte der eines andern, so finden zwischen den Tönen beider die kleinern Intervalle der Secunde, Terz, Quarte, Quinte, Sexte und Septime Statt. Das Verhältniss dieser zum Grundtone von Seiten der Zahl der sie erzeugenden Schwingungen zeigt folgende Übersicht, die ich aus Chladni's Akustik (27) und v. Baer's Anthropologie (28), jedoch mit einiger Veränderung, entlehnt habe.

Intervalle des Grundtones.		Verhältnisse der Schwingungszahlen nach gemeinen Brüchen	nach Decimalbrüchen.
Grundton, Prime (Einklang)	C : C	1	1,0000
Übermässige Prime	C : Cis	$\frac{25}{24}$	1,0416$\frac{2}{3}$
Kleine Secunde	D : Es	$\frac{16}{15}$	1,0666$\frac{2}{3}$
	C : Des	$\frac{27}{25}$	1,08
Grosse Secunde	D : E	$\frac{10}{9}$	1,1111$\frac{1}{9}$
	C : D	$\frac{9}{8}$	1,125

27) *Koch* a. a. O. S. 27. 28) Bd. 1. S. 282.

Intervalle des Grundtones.		Verhältnisse der Schwingungszahlen nach gemeinen Brüchen.	nach Decimalbrüchen.
Übermässige Secunde	D : Eïs	$\frac{125}{108}$	1,1574$\frac{2}{27}$
	C : Dis	$\frac{75}{64}$	1,1718$\frac{3}{4}$
Verminderte Terz (29)	C : Eses od. Cis : Es	$\frac{144}{125}$	1,152
Kleine Terz	C : Es	$\frac{6}{5}$	1,2
Grosse Terz	C : E	$\frac{5}{4}$	1,25
Übermässige Terz	C : Eïs	$\frac{125}{96}$	1,3020$\frac{5}{6}$
Verminderte Quarte	C : Fes	$\frac{32}{25}$	1,28
(Vollkommene) Quarte	C : F	$\frac{4}{3}$	1,3333$\frac{1}{3}$
Übermässige Quarte	C : Fis	$\frac{25}{18}$	1,3888$\frac{8}{9}$
Verminderte (oder kleine) Quinte (auch falsche Quinte genannt)	C : Ges	$\frac{36}{25}$	1,44
(Vollkommene oder grosse oder reine) Quinte	C : G	$\frac{3}{2}$	1,5
Übermässige Quinte	C : Gis	$\frac{25}{16}$	1,5625
Kleine Sexte	C : As	$\frac{8}{5}$	1,6
Grosse Sexte	C : A	$\frac{5}{3}$	1,6666$\frac{2}{3}$
Übermässige Sexte	C : Aïs	$\frac{125}{72}$	1,7361$\frac{1}{9}$
Verminderte Septime	D : ces	$\frac{128}{75}$	1,7066$\frac{2}{3}$
	C : B♭ od. Cis : B	$\frac{216}{125}$	1,728
Kleine Septime	D : c	$\frac{16}{9}$	1,7777$\frac{7}{9}$
	C : B	$\frac{9}{5}$	1,8
Grosse Septime	C : H	$\frac{15}{8}$	1,875
Übermässige Septime	C : His	$\frac{125}{64}$	1,9531$\frac{1}{4}$
Verminderte Octave	C : ces	$\frac{48}{25}$	1,92
(Vollkommene) Octave	C : c	2	2,0000

Anmerkung 1. Die *grosse Secunde* ist zwiefacher Art, weil sie das Intervall eines ganzen Tones, dieser selbst aber entweder ein grosser, oder ein kleiner ganzer ist (s. unten). Ein kleiner

---

29) Da dieses die erste Stelle dieser Schrift ist, in welcher die Intervalle vollständig aufgezählt werden, so zog ich es zur Erleichterung des Überblicks vor, die gleichnamigen zusammenzustellen. Hätte ich sie dagegen mit *Chladni* und *v. Baer* nach ihrem Zahlenwerthe geordnet, so würde die verminderte Terz vor der übermässigen Secunde, die verminderte Quarte vor der übermässigen Terz, die verminderte Septime vor der übermässigen Sexte, die verminderte Octave vor der übermässigen Septime stehen müssen.

ganzer Ton ist z. B. D:E, ein grosser ganzer C:D. Opelt unterscheidet beiderlei grosse Secunden dadurch, dass er die durch einen kleinen ganzen Ton gebildete, *grosse*, die durch einen grossen ganzen gebildete, *grössere* Secunde nennt. Jene ist $= \frac{10}{9}$, diese $= \frac{9}{8}$. Nothwendig müssen nun auch die *verminderte* oder *kleine* Secunde, und die *übermässige* Secunde zwiefacher Art sein. Denn erstere entsteht, indem die grosse Secunde um einen kleinen halben Ton $= \frac{25}{24}$ (s. unten) vermindert; letztere dadurch, dass sie um eben so viel gesteigert wird. Daher erhalten wir für die *kleine Secunde*, jenachdem wir die grosse oder die grössere Secunde vermindern, verschiedene Verhältnisszahlen, im erstern Falle $\frac{16}{15}$, denn $\frac{10}{9}$ dividirt durch $\frac{25}{24} = \frac{240}{225} = \frac{16}{15}$; im letztern dagegen $\frac{27}{25}$, denn $\frac{9}{8} : \frac{25}{24} = \frac{216}{200} = \frac{27}{25}$. (Chladni, v. Baer und Opelt (S. 35.) geben nur die erstere Zahl, und zwar fälschlich bei Des an, dem sie gar nicht zukommt, weil $\frac{16}{15}$, wie eben gezeigt ist, die Verminderung derjenigen Secunde ist, welche von dem Grundtone nur durch einen kleinen ganzen Ton getrennt ist, so dass $\frac{16}{15}$ nur z. B. dem Intervall D : Es, nicht aber dem von C : Des zukommen kann. Baumgartner dagegen stellt S. 242., wie auch Biot II. S. 35., bloss die Zahl $\frac{27}{25}$, diese aber richtig bei Des, auf.) Eben so erhalten wir für die *übermässige Secunde* zweierlei Zahlen, jenachdem die grosse oder die grössere Secunde um $\frac{25}{24}$ gesteigert wird. Denn $\frac{10}{9}$ multiplicirt mit $\frac{25}{24} = \frac{250}{216} = \frac{125}{108}$; $\frac{9}{8} \times \frac{25}{24} = \frac{225}{192} = \frac{75}{64}$. Dass hier und im Folgenden stets die Verhältnisszahl eines Intervalls mit der Zahl desjenigen Intervalls, um welches dasselbe vermindert werden soll, *dividirt*, dagegen mit der Zahl desjenigen, um welches dasselbe erhöht werden soll, *multiplicirt* wird, beruht darauf, dass die Verhältnisszahlen der Töne nicht eine *arithmetische* Reihe bilden, bei der die Verminderung und Vermehrung durch Subtraction und Addition geschieht, sondern eine *geometrische*, bei der beiderlei Veränderungen durch Division und Multiplication bewirkt werden. Vgl. v. Baer a. a. O. Bd. I. S. 286. 289. und Chladni: Akust. S. 47.

Anmerkung 2. Die Zwiefachheit der *verminderten Septime* beruht auf der Zwiefachheit der kleinen Septime, aus der jene durch Verminderung derselben um einen kleinen halben Ton $= \frac{25}{24}$ entsteht. Denn $\frac{16}{9}$ dividirt durch $\frac{25}{24} = \frac{384}{225} = \frac{128}{75}$, und $\frac{9}{5} : \frac{25}{24} = \frac{216}{125}$. — Opelt unterscheidet die beiden kleinen Septimen dadurch, dass er das Intervall $\frac{16}{9}$ *kleinere Septime*, das von $\frac{9}{5}$ *kleine Septime* nennt.

Anmerkung 3. Von den in obiger Tabelle angegebenen Verhältnisszahlen, in welchen **Chladni**, v. **Baer**, **Baumgartner** und **Opelt**, abgesehen davon, dass bei jedem derselben einzelne Zahlen fehlen, mit einander übereinstimmen, weicht **Fischer** in Taf. I. seiner Abh.: Über das akustische Verhältniss der Accorde ab. Um einen Jeden in den Stand zu setzen, selbst zu vergleichen und zu prüfen, füge ich den hieher gehörigen Theil jener Taf. hier bei.

Namen der Töne.	Näherungswerth jedes Tones.	Anzahl der Schwingungen jedes Tones, während C eine Schwingung macht, nach dem Näherungswerthe.	
C	1	1,00000	(1,0000000)
Cis od. Des	$\frac{17}{16}$	1,06250	(0,9411765)
	$\frac{18}{17}$	1,05882	(0,9444444)
D	$\frac{9}{8}$	1,12500	(0,8888889)
	$\frac{10}{9}$	1,11111	(0,9000000)
Dis od. Es .	$\frac{6}{5}$	1,20000	(0,8333333)
	$\frac{7}{6}$	1,16667	(0,8571429)
	$\frac{13}{11}$	1,18182	(0,8461538)
	$\frac{19}{16}$	1,18750	(0,8421053)
E	$\frac{5}{4}$	1,25000	(0,8000000)
	$\frac{19}{15}$	1,26667	(0,7894737)
	$\frac{9}{7}$	1,28571	(0,7777778)
F	$\frac{4}{3}$	1,33333	(0,7500000)
Fis od. Ges	$\frac{7}{5}$	1,40000	(0,7142857)
	$\frac{17}{12}$	1,41667	(0,7058824)
	$\frac{10}{7}$	1,42857	(0,7000000)
G	$\frac{3}{2}$	1,50000	(0,6666667)
Gis od.	$\frac{8}{5}$	1,60000	(0,6250000)
As .	$\frac{19}{12}$	1,58333	(0,6315789)
A	$\frac{5}{3}$	1,66667	(0,6000000)
	$\frac{17}{10}$	1,70000	(0,5882353)
	$\frac{27}{16}$	1,68750	(0,5925926)
Aïs od. B ..	$\frac{7}{4}$	1,75000	(0,5714286)
	$\frac{9}{5}$	1,80000	(0,5555556)
	$\frac{16}{9}$	1,77778	(0,5625000)
H	$\frac{15}{8}$	1,87500	(0,5333333)
	$\frac{17}{9}$	1,88889	(0,5294118)

Die hier in Klammern beigefügten Decimalbrüche gehören nicht hieher, sondern sind bloss zur Raumersparniss hier schon beigebracht, um nicht in der ersten Anm. von § 37. den grössten Theil dieser Tab. noch einmal wiederholen zu müssen. Was jene Zahlen bedeuten, s. in der ersten Anm. von § 37.

Die Zahl der Intervalle und ihre Berechnung könnte noch weiter fortgesetzt werden, da auch von *kleinen* und *grossen Nonen*, *Decimen*, *Undecimen* u. s. w. geredet wird. Da aber diese, wie ich schon oben erwähnt, nichts als Wiederholungen der kleinen und grossen Secunden, Terzen, Quarten u. s. w. in der nächst höhern Octave sind,

so kann ihre Verhältnisszahl Jeder selbst mit Leichtigkeit auffinden, wenn er z. B., um die der Nonen zu finden, die Verhältnisszahl der Secunde mit der der Octave multiplicirt. Demnach sind z. B. die Verhältnisszahlen der beiden kleinen Nonen (denn ihrer sind 2, weil es 2 kleine Secunden gibt) $\frac{32}{15}$ (entsprechend der kleinen Secunde $\frac{16}{15}$) und $\frac{54}{25}$ (entsprechend der kleinen Secunde $\frac{27}{25}$). Denn $2 \times \frac{16}{15} = \frac{32}{15}$ und $2 \times \frac{27}{25} = \frac{54}{25}$. Die Verhältnisszahlen der den beiden grossen Secunden entsprechenden beiden grossen Nonen sind $\frac{20}{9}$ (entsprechend der grossen Secunde $\frac{10}{9}$) und $\frac{9}{4}$ (entsprechend der grossen Secunde $\frac{9}{8}$). Denn $2 \times \frac{10}{9} = \frac{20}{9}$ und $2 \times \frac{9}{8} = \frac{18}{8} = \frac{9}{4}$.

Nunmehr wird es am rechten Orte sein, jene Intervalle, die wir so eben nach ihren Namen ordneten, nach ihrem Zahlenwerthe in eine Reihe zu bringen, wobei wir aber noch einen andern wichtigen Zweck vor Augen haben, nämlich zu zeigen, wie alle diese Verhältnisse in Bezug auf das Centrum der Octave symmetrisch geordnet liegen, und die einander zur Octave ergänzenden Intervalle, die *Octavcomplemente* oder die sogenannte *Umkehrung der Intervalle* anzudeuten. Opelt hat S. 35. hierzu ein gutes Schema gegeben, das aber nur auf 12 Verhältnisszahlen sich erstreckt. Wir dehnen dieses Verfahren auf sämmtliche zuvor erwähnte Intervalle aus. Statt der Klammern, deren sich Opelt zur Erreichung der angegebenen Absichten dabei bedient, halten wir es, der hier bei weitem ausgedehnteren Reihe wegen, für zweckmässiger, die einander als Octavcomplemente (d. h. als einander zur Octave ergänzende) entsprechenden symmetrischen Intervalle dadurch anzuzeigen, dass wir, von dem Centrum der Octave ausgehend, neben dieselben den nämlichen Buchstaben setzen. Um die Übersicht möglichst zu erleichtern, sind dabei sowohl die Namen der Intervalle, als auch die entsprechenden Töne weggelassen, da Beides von Jedem leicht in der vorigen Tabelle aufgesucht werden kann.

1	π
($\frac{128}{125}$)	ο
$\frac{25}{24}$	ξ
$\frac{16}{15}$	ν
$\frac{27}{25}$	μ
$\frac{10}{9}$	λ
$\frac{9}{8}$	κ
$\frac{144}{125}$	ι
$\frac{125}{108}$	ϑ
$\frac{75}{64}$	η
$\frac{6}{5}$	ζ
$\frac{5}{4}$	ε
$\frac{32}{25}$	δ
$\frac{125}{96}$	γ
$\frac{4}{3}$	β
$\frac{25}{18}$	α
$\sqrt{2}$	Centrum d. Oct.
$\frac{36}{25}$	α
$\frac{3}{2}$	β
($\frac{192}{125}$)	γ
$\frac{25}{16}$	δ
$\frac{8}{5}$	ε
$\frac{5}{3}$	ζ
$\frac{128}{75}$	η
$\frac{216}{125}$	ϑ
$\frac{125}{72}$	ι
$\frac{16}{9}$	κ
$\frac{9}{5}$	λ
*	μ
$\frac{15}{8}$	ν
$\frac{48}{25}$	ξ
$\frac{125}{64}$	ο
2	π

Dass ein jedes der durch diese Verhältnisszahlen bezeichneten Intervalle wirklich das Octavcomplement des ihm gegenüber stehenden, mit demselben Buchstaben bezeichneten sei, davon kann man sich durch Multiplication beider Zahlen leicht überzeugen, da stets die Verhältnisszahl der Octave, nämlich 2, sich ergeben muss, z. B. $\frac{4}{3} \times \frac{3}{2} = \frac{12}{6} = 2$; folglich ist die Quarte das Octavcomplement der Quinte, oder die Umkehrung derselben, und dasselbe gilt von der Quinte in Bezug auf die Quarte. Ebenso $\frac{5}{4} \times \frac{8}{5} = \frac{40}{20} = 2$, folglich ergänzen sich zur Octave und entsprechen einander die grosse Terz und die kleine Sexte u. s. w. Um aber jeder in der frühern Tabelle erwähnten Verhältnisszahl ihr Octavcomplement hier anzuweisen, war ich genöthigt, 2 Zahlen, $\frac{128}{125}$ und $\frac{192}{125}$, einzuschalten und eine dritte durch einen Stern anzudeuten. Diese letzte ist eine irrationale Zahl, so lange man ihr Octavcomplement durch $\frac{27}{25}$ ausdrückt. Setzt man aber statt der letztern die das nämliche Verhältniss darbietende Zahl $\frac{54}{50}$, so ist die durch einen Stern angedeutete $\frac{50}{27}$ oder, als Decimalbruch, $1{,}8518\frac{14}{27}$. Der entsprechende Ton würde daher etwas tiefer als H sein. Der Verhältnisszahl $\frac{128}{125}$, deren Ton zwischen C und Cis fallen würde, entspricht zwar in der obigen Tabelle kein Intervall, weil dort nur diejenigen aufgezählt werden, welche zwischen dem Grundtone C oder D und den höhern Tönen derselben Octave Statt finden; wohl aber findet man ein ihr entsprechendes Intervall, wenn man

jeden Ton nur mit dem nächst unter oder über ihm liegenden vergleicht, s. unten. Der dem Bruche $\frac{192}{125}$ entsprechende Ton würde zwischen G und Gis in der Mitte liegen, wie die Vergleichung seines Decimalbruches 1,536 mit denen jener beiden Töne lehrt.

In allen hier neben den Decimalbrüchen angegebenen gemeinen Brüchen bezeichnet überall der Zähler die Zahl der Schwingungen, welche der den höhern Ton hervorbringende Körper in der nämlichen Zeit macht, in welcher der Körper, der den Grundton gibt, die durch den Nenner bezeichnete Schwingungszahl hervorbringt. Soll z. B. ein Körper die kleine Secunde des Tones eines andern erzeugen, so muss er in demselben Zeittheile, in welchem der letztere 15 Mal schwingt, 16 Schwingungen machen; seine Schwingungsschnelligkeit verhält sich daher zu der des andern wie 16 : 15. — Um aber diese Brüche ihrem gegenseitigen Verhältnisse nach klar zu machen und den Ursprung der grössern zu zeigen, müssen wir noch Folgendes beifügen. So gross auch die Zahl der Intervalle einer Octave ist, wenn wir alle Töne derselben von Einem Grundtone aus betrachten, so einfach wird dagegen dieselbe, wenn wir nur immer je 2 einander nahe liegende unter sich vergleichen. Denn wir erhalten dann folgende 5 Intervalle, denen die beigefügten Verhältnisszahlen entsprechen:

grosse ganze Töne.. = $\frac{9}{8}$,
kleine ganze Töne.. = $\frac{10}{9}$,
grosse halbe Töne.. = $\frac{16}{15}$,
kleine halbe Töne.. = $\frac{25}{24}$ und
das Comma, welches die kleinere Diesis (30) heisst = $\frac{128}{125}$.

Diese Verhältnisszahlen finden wir, mit Ausnahme der letzten, in umgekehrter Reihenfolge gleich zu Anfange obi-

30) *Chladni* S. 44.

ger Tabelle. Es erkennt daraus Jeder von selbst, dass ein Intervall, wie das zwischen C und Cis, ein kleiner halber; ein solches, wie das zwischen C und Des, ein grosser halber Ton sei; dass ein Intervall, wie zwischen D und E, ein kleiner ganzer; eins, wie das zwischen C und D, ein grosser ganzer Ton sei. Wo diese 3 letztern Intervalle in der Reihe der sogenannten natürlichen oder Haupttöne Statt finden, zeigt folgende Übersicht:

C D E F G A H c

$\frac{9}{8}$ $\frac{10}{9}$ $\frac{16}{15}$ $\frac{9}{8}$ $\frac{10}{9}$ $\frac{9}{8}$ $\frac{16}{15}$.

Die unter die Mitte des Zwischenraumes je zweier Töne gesetzten Zahlen zeigen die Grösse des Intervalles dieser beiden Töne an. — Das Intervall eines kleinen halben Tones tritt zwischen jedem Haupttone und seiner Erhöhung oder Erniedrigung ein, also z. B. zwischen F und Fis und zwischen F und Fes. Daher erhält man die Verhältnisszahl von Fis, wenn man die von F $= \frac{4}{3}$ mit jener eines kleinen halben Tones multiplicirt, $\frac{4}{3} \times \frac{25}{24} = \frac{100}{72} = \frac{25}{18}$; die Verhältnisszahl von Fes aber, wenn man die von F durch $\frac{25}{24}$ dividirt, $\frac{4}{3} : \frac{25}{24} = \frac{96}{75} = \frac{32}{25}$ (31). — Das letzte Intervall, welches $= \frac{128}{125}$, findet zwischen 2 Tönen Statt, von denen der eine durch Erhöhung eines診Hauptons, der andere aber durch Erniedrigung des nächst höhern Haupttons entstanden ist, z. B. zwischen Cis und Des (32). Daher gewinnt man die Verhältnisszahl von Des, wenn man die von Cis mit $\frac{128}{125}$ multiplicirt, $\frac{25}{24} \times \frac{128}{125} = \frac{3200}{3000} = \frac{16}{15}$, und umgekehrt die von Cis, wenn man die von Des durch $\frac{128}{125}$ dividirt, $\frac{16}{15} : \frac{128}{125} = \frac{2000}{1920} = \frac{25}{24}$. So wird man mit Leichtigkeit alle Verhältnisszahlen der Töne, welche zwischen die oben genannten Haupttöne fallen, durch Rechnung selbst auffinden können.

---

31) *Chladni* S. 16. — *v. Baer* I. S. 280 f. — *Biot* II. S. 34. 37. 32) *v. Baer* I. S. 286.

Anmerkung. Mit der zuvor angegebenen Eintheilung einer ganzen Tonstufe hat man sich noch nicht begnügt, sondern sie in 9 Theile getheilt, die man *Commata* nennt, wonach eine vollständige Octave in 55 Commata sich eintheilen lässt. Vgl. den Aufs.: »Zelter's Meinung über Harmoniemusik«, in d. Leipz. Allgem. musik. Zeitung. Mai 1837. Nr. 18. S. 296. Scheibler hat 52 Stimmgabeln für die verschiedenen Intervalle zwischen a und $\bar{a}$ eingerichtet, s. Poggendorff's Annal. Bd. 29. (105.) S. 394. und W. Weber: Akust. S. 14. — Über das *pythagorische* oder *ditonische Comma*, so wie über das *syntonische Comma*, über das *Diaschisma* s. Chladni S. 44. — Die der oben erwähnten *kleinern Diesis* gegenüberstehende *grössere Diesis* beträgt $\frac{648}{625}$ oder 1,0368, s. ebend.

§ 37.

2. *Bestimmung der Tonhöhe nach der Schwingungszeit.*

In dem Bisherigen war stets die *Zahl der* zu den verschiedenen Tönen erforderlichen *Schwingungen* der Maassstab, wonach wir diese Töne verglichen. Ein anderer Maassstab, oder genau betrachtet, der nämliche, nur auf eine andere Weise gebraucht, ist die *Zeit, in welcher* ein klingender Körper im Vergleich mit andern *eine einzelne der zu seinem Tone nöthigen Schwingungen, oder auch eine willkührlich zu bestimmende Anzahl derselben vollbringt*, mithin die *Dauer jener einzelnen oder dieser Mehrzahl von Schwingungen.* So lange wir das Verhältniss der Töne nach der Zahl der Schwingungen abmassen, kam der Begriff der Zeit nur in so weit mit in Betracht, als man sich die Schwingungszahlen der Töne, womit man rechnete, stets als einer und derselben Zeit, z. B. einer Secunde, angehörig vorzustellen hatte, diese Zeit selbst aber brauchte nicht auch gerade mit bekannt zu sein. Daher war es an sich ganz einerlei, ob wir dabei mit den Schwingungszahlen rechneten, welche den Tönen z. B. in 1 Secunde zukommen, wie

C, c, g, $\bar{c}$, $\bar{e}$, $\bar{g}$, $\bar{\bar{c}}$ u. s. w.,
128, 256, 384, 512, 640, 768, 1024

oder mit folgenden einfachen Zahlen, die ihnen in $\frac{1}{128}$ Secunde zukommen:

C, c, g, $\bar{c}$, $\bar{e}$, $\bar{g}$, $\bar{\bar{c}}$
1, 2, 3, 4, 5, 6, 8,

da diese in demselben Verhältnisse zu einander stehen, wie jene grössern. Hier ist also die Zeiteinheit der Schwingungszahlen ganz willkührlich. Zu demselben Ziele, nämlich zur Feststellung des *Verhältnisses der verschiedenen Töne*, gelangen wir aber auch durch Umkehrung dieses Verfahrens, indem wir für alle Töne, deren gegenseitiges Verhältniss wir angeben wollen, *einerlei Schwingungszahl* willkührlich festsetzen, gleichwie zuvor eine Zeiteinheit für alle Schwingungszahlen willkührlich angenommen wurde, und nun fragen: *binnen welcher Zeit wird diese Schwingungszahl von den klingenden Körpern vollbracht*, welche die ihrem gegenseitigen Verhältnisse nach zu bestimmenden Töne hervorbringen? Um das Verhältniss dieses Verfahrens zu dem vorigen recht anschaulich zu machen, wählen wir dieselben zuvor mit ihren Schwingungszahlen angeführten Töne auch hier zur Erläuterung des Gesagten. Statt nun, wie dort, zu fragen: wie viel Schwingungen macht der den Ton C gebende Körper in einer ganzen oder in $\frac{1}{128}$ Secunde? wie viel der den Ton c hervorbringende? u. s. w. fragen wir jetzt: in welcher Zeit macht der den Ton c gebende Körper 1 oder 128 Schwingungen? in welcher Zeit macht der den Ton c erzeugende Körper u. s. w. dieselbe Zahl von Schwingungen? Die Antwort für den klingenden Körper des Tones C ist, fragt man nach der Dauer Einer Schwingung, $\frac{1}{128}$ Secunde, fragt man nach 128 Schwingungen, 1 Secunde; für den, der den Ton c gibt, bei der erstern Frage $\frac{1}{256}$ Secunde, bei der letztern dage-

gen $\frac{1}{2}$ Secunde. Denn der Körper des c macht ja 256 Schwingungen in 1 Secunde, gebraucht demnach zur Hälfte dieser Schwingungen auch nur $\frac{1}{2}$ Secunde, zu 1 Schwingung aber $\frac{1}{256}$ Secunde. Schon aus diesen beiden Beispielen ersieht Jeder, dass, wollte man so für die folgenden Töne jener Reihe oder für die zwischen C und c liegenden die Dauer einer einzelnen Schwingung berechnen, ziemlich unbequeme und wenig übersichtliche Verhältnisszahlen herauskommen würden. Dieses wird vermieden, wenn man entweder statt der Dauer Einer Schwingung die von 128 Schwingungen berechnet, oder statt der auf diesen beiden Wegen erhaltenen *absoluten* Zahlen *relative* anwendet, d. h. solche, wo man nicht, wie bei jenen, von einem *bestimmten Zeitmaasse*, einer ganzen oder $\frac{1}{128}$ Secunde, bei dem Grundtone C ausgeht, sondern dieses ganz unbestimmt lässt, und wie Fischer in der seiner Abhandlung beigefügten Taf. I. die Zeit einer Schwingung des C = 1 setzt. Denn die auf diese letztere Weise gewonnenen Zahlen haben unter einander dasselbe Verhältniss wie jene absoluten. Indess so wie bei der obigen Berechnung der Tonverhältnisse nach der Schwingungszahl die einfachen Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. eben so gut für relative wie für absolute erklärt werden konnten, für erstere, sofern die Zeiteinheit dabei ganz unbestimmt blieb, für letztere, sofern man $\frac{1}{128}$ Secunde als Zeiteinheit betrachten konnte ([1]), so finden wir auch hier *Zahlen der Schwingungsdauer*, die mit gleichem Rechte für *absolute* wie für *relative* gelten können. *Relative*, also blosse Verhältnisszahlen sind sie, wenn wir z. B. mit Fischer die Zeit einer Schwingung des C schlechthin = 1 setzen, unbekümmert, welcher Name diesem durch 1 bezeichneten Zeittheile zukomme. Eine Secunde dagegen bezeichnet diese 1, und wird so zu einer *absoluten* Zahl,

---

1) Vgl. *Opelt*: über die Natur der Musik S. 9 f.

wenn man 1 nicht mehr als Bezeichnung der Dauer Einer Schwingung, sondern von 128 Schwingungen des C betrachtet. Dieses als Vorbemerkung zum richtigen Verständnisse und Gebrauche der folgenden Tabellen, die wir den obigen gegenüber stellen. Der S. 632 f. gegebenen entspricht folgende:

Namen der Töne.	Zeit, in welcher die jene Töne hervorbringenden Körper eine einzelne Schwingung oder 128 vollbringen. (Im letztern Falle bezeichnet 1 eine Secunde, im erstern aber ist sie nebst den folgenden eine blosse Verhältnisszahl der Zeit.)
C	1,
c	$\frac{1}{2}$,
g	$\frac{1}{3}$,
$\bar{c}$	$\frac{1}{4}$,
$\bar{e}$	$\frac{1}{5}$,
$\bar{g}$	$\frac{1}{6}$,
$\bar{\bar{c}}$	$\frac{1}{8}$,
$\bar{\bar{d}}$	$\frac{1}{9}$,
$\bar{\bar{e}}$	$\frac{1}{10}$,
$\bar{\bar{g}}$	$\frac{1}{12}$,
$\bar{\bar{h}}$	$\frac{1}{15}$,
$\bar{\bar{\bar{c}}}$	$\frac{1}{16}$.

Die Töne der Octave C — c verhalten sich hiernach auf folgende Weise zu einander:

Intervalle des Grundtons.		Zeit, in welcher die jene Töne hervorbringenden Körper eine einzelne oder 128 Schwingungen machen.	
Grundton, Prime	C : C	1	1,00000
Übermässige Prime	C : Cis	$\frac{24}{25}$	0,96000
Kleine Secunde	D : Es	$\frac{15}{16}$	0,93750
	C : Des	$\frac{25}{27}$	0,92592
Grosse Secunde	D : E	$\frac{9}{10}$	0,90000
	C : D	$\frac{8}{9}$	0,88888
Verminderte Terz	C : Eses od. Cis : Es	$\frac{125}{144}$	0,86805
Übermässige Secunde	D : Eïs	$\frac{108}{125}$	0,86400
	C : Dis	$\frac{64}{75}$	0,85333
Kleine Terz	C : Es	$\frac{5}{6}$	0,83333
Grosse Terz	C : E	$\frac{4}{5}$	0,80000
Verminderte Quarte	C : Fes	$\frac{25}{32}$	0,78125
Übermässige Terz	C : Eïs	$\frac{96}{125}$	0,76800
(Vollkommene) Quarte	C : F	$\frac{3}{4}$	0,75000
Übermässige Quarte	C : Fis	$\frac{18}{25}$	0,72000
Verminderte (od. kleine) Quinte	C : Ges	$\frac{25}{36}$	0,69444
(Vollkomm., od. grosse, oder reine) Quinte	C : G	$\frac{2}{3}$	0,66666
Übermässige Quinte	C : Gis	$\frac{16}{25}$	0,64000
Kleine Sexte	C : As	$\frac{5}{8}$	0,62500
Grosse Sexte	C : A	$\frac{3}{5}$	0,60000
Verminderte Septime	D : ces	$\frac{75}{128}$	0,58593
	C : B^b od. Cis : B	$\frac{125}{216}$	0,57870
Übermässige Sexte	C : Aïs	$\frac{72}{125}$	0,57600
Kleine Septime	D : c	$\frac{9}{16}$	0,56250
	C : B	$\frac{5}{9}$	0,55555
Grosse Septime	C : H	$\frac{8}{15}$	0,53333
Verminderte Octave	C : ces	$\frac{25}{48}$	0,52083
Übermässige Septime	C : His	$\frac{64}{125}$	0,51200
(Vollkommene) Octave	C : c	$\frac{1}{2}$	0,50000

Anmerkung. Die hieher gehörenden Decimalbrüche Fischer's in seiner Taf. I. habe ich schon in der vorigen Anm. S. 637. den auf die Schwingungszahl sich beziehenden Brüchen überall in Klammern beigefügt. Wer sie mit jenen von mir berechneten

Decimalbrüchen vergleicht, wird abermals mehrfache Abweichung finden. Diese ist eine nothwendige Folge der in der vorigen Anmerk. angezeigten Verschiedenheit der Schwingungszahlen. Denn da sich die Schwingungsdauer umgekehrt verhält wie die Schwingungszahl, so sind auch die hier angegebenen gemeinen Brüche durchweg die Umkehrungen der oben bei der Schwingungszahl angegebenen, und eine Abweichung in jenen muss natürlich auch eine gleiche in diesen und den daraus berechneten Decimalbrüchen nach sich ziehen.

Es befremdet mich, diese eben erörterte Weise, das Verhältniss der Töne zu bestimmen, weder in Chladni's Akustik (²) und den Beyträgen dazu, noch in einer andern mir bis jetzt bekannt gewordenen Schrift über diese Gegenstände gefunden zu haben, mit alleiniger Ausnahme von Fischer's Abhandlung: »Über das akustische Verhältniss der Accorde« (³), und seiner Abh. »Versuche über die Schwingungen gespannter Saiten« (⁴). Es liefert dieses Verfahren zwar keine andern Resultate als das nächst folgende, wo die *Länge* zum Maassstabe genommen wird,

---

2) S. 71. sagt er nur bei Erläuterung der Schwingungen der Saiten: »Die Dauer einer jeden einzelnen Schwingung steht im entgegengesetzten Verhältnisse der Schwingungszahlen.« 3) Was er in der Abhandlung selbst darüber sagt, besteht lediglich in Folgendem S. 1.: »Im Allgemeinen versteht man unter musikalischer Temperatur den Zusammenhang von Verhältnissen, durch welche die Höhe jedes in einem Tonsysteme vorkommenden Intervalles bestimmt wird. Dieses Verhältniss wird bekanntlich auf doppelte Weise angegeben, entweder vergleicht man die Zeiten, in welchen die beiden Töne des Intervalles gleich viele Schwingungen, z. B. *eine* vollbringen, also $c : e = 1 : \frac{4}{5}$ (die Dauer einer Schwingung des c, zur Dauer einer Schwingung des e verhält sich wie $1 : \frac{4}{5}$), oder man vergleicht die Anzahlen von Schwingungen, welche 2 Töne in *derselben* Zeit vollbringen, also $c : e = 4 : 5$, da 4 Schwingungen des c so viel Zeit einnehmen, als 5 des e.« Wie er am Schluss d. Abh. Taf. I. das Verhältniss der einzelnen Töne von Seiten der Schwingungsdauer angibt, ist oben erwähnt. 4) In d. Abhandl. d. Berlin. Akad. d. W. A. d. J. 1822 u. 1823. Phys. Klasse S. 210. sagt er: »Jedes Tonverhältniss kann allezeit auf zwei Arten verglichen werden: entweder *nach der Dauer der Schwingungen* oder *nach der Anzahl der Schwingungen in gleichen Zeiten.* Man sieht aber leicht ein, dass eines das Umgekehrte des andern ist; nur mit dem Unterschiede, dass, wenn man die Dauer der Schwingungen vergleicht, der *tiefere* Ton die *grössere* Zahl, vergleicht man aber die Anzahl der Schwingungen, der *tiefere* Ton die *kleinere* Zahl erhalten muss. Man kann also auch zwei Stimmungen in diesem doppelten Sinne vergleichen. Will man die *Dauer* der Schwingungen vergleichen, so dienen dazu die gefundenen Werthe der Länge, da die Dauer der Schwingungen, alles Übrige gleich gesetzt, sich wie die Längen der Saiten verhalten u. s. w.«

wie man aus der Vergleichung der Verhältnisszahlen beider erkennt, ist aber dessen ungeachtet von grosser Wichtigkeit, weil es zeigt, dass diese Verhältnisszahlen, in sofern sie das Verhältniss der *Schwingungszeit* bezeichnen, eben so wie die obigen das Verhältniss der *Schwingungszahlen* anzeigenden, *allen klingenden Körpern* zukommen, während sie, so lange man sie bloss als Verhältnisszahlen der *Länge* der die verschiedenen Töne erzeugenden Körper betrachtete, *bloss bei den Saiten* gültig waren.

Anmerkung. Bei der Betrachtung der *Dauer der Schwingungen* muss noch ein sehr wichtiger Punkt zur Sprache kommen: ob nämlich alle Schwingungen, die ein Körper während der Hervorbringung eines Tones macht, vollkommen *gleichzeitig* sind? Fischer spricht sich darüber (in s. Abh. »Über die Grundlehren der Akustik«, in d. Abhandl. d. Berlin. Akad. d. W. A. d. J. 1824. Phys. Klasse S. 85.) so aus: »Es ist aber theoretisch erwiesen und durch die Beobachtung vollkommen bestätigt, dass die *Dauer* einer Oscillation von der Grösse der Oscillationsweite unabhängig ist, so dass alle Oscillationen desselben Punktes vollkommen *gleichzeitig* sind. Wenigstens verhält es sich so, wenn der oscillirende Punkt nicht über eine gewisse Grenze aus seiner natürlichen Lage herausgetrieben wird. Da ich als bekannt und ausgemacht voraussetze, dass die Höhe eines Tones lediglich von der Dauer seiner Oscillationen abhängt, so kann man sich auf die einfachste Art von der Gleichzeitigkeit der Oscillationen überzeugen, wenn man den Ton einer Saite oder einer Stimmgabel verklingen lässt, wo man nicht die allergeringste Veränderung in der Höhe des Tones wahrnehmen wird.« Vgl. auch dess. Abh. »Versuche über die Schwingungen gespannter Saiten«, in d. Abh. d. Berlin. Akad. d. W. A. d. J. 1822. u. 1823. Phys. Kl. S. 188. Dieser Ansicht tritt namentlich W. Weber entgegen mit der auf sehr genaue Beobachtungen gestützten Behauptung, dass bei allen einzeln und isolirt schwingenden Körpern immer ein kleiner Unterschied zwischen der *Dauer kleinerer Schwingungen*, wodurch die schwächern Töne, und zwischen der *Dauer grösserer Schwingungen* Statt findet, wodurch die stärkern Töne entstehen; s. Poggendorff's Annal. Bd. 16. (92.) S. 415. Demnach können nur *kleine Schwingungen* als *gleichzeitig* betrachtet werden, s.

ebend. Bd. 17. (93.) S. 211. vgl. S. 214. — Baumgartner: Supplbd. S. 373. vgl. Poisson: traité de mécanique. Tome II. p. 304. — Daher trifft nun auch keineswegs mit den Beobachtungen Anderer, namentlich W. Weber's, zusammen, was Fischer zu Ende der angef. Stelle sagt. Denn transversal schwingende Saiten und Membranen tönen, wenn die Oscillationsweiten grösser sind (wegen der damit verknüpften höhern Spannung) höher, Stimmgabeln und Platten dagegen bei grössern Excursionen tiefer. S. oben S. 221 ff. 450. 481 f. 499.

§ 38.

3. *Bestimmung der Tonhöhe nach der Länge der Saiten.*

Zu dieser dritten, nur bei den Saiten von gleicher Dicke und Qualität anwendbaren Berechnungsart des *Tonverhältnisses* nach der *Länge des schwingenden Körpers* gehen wir jetzt über. Bei gleichartigen Saiten von gleicher Dicke und einerlei Spannung verhält sich nämlich die Länge umgekehrt wie die Zahl der Schwingungen (1), da die letztere in demselben Grade steigt, in welchem die schwingende Saite (2) sich verkürzt. So gibt eine Saite, die, wenn sie ganz schwingt, ihren Grundton hervorbringt, dann, wenn man nur die Hälfte davon schwingen lässt, die nächst höhere Octave; wenn nur ein Drittel, die Quinte dieser nächst höhern Octave. Um diese und die folgenden Längenverhältnisse bequemer übersehen zu können, ordnen wir sie wieder tabellarisch mit der Bemerkung, dass es ganz einerlei ist, ob man von einer und derselben Saite den angegebenen Theil, z. B. die Hälfte, schwingen lässt, oder ob man eine andere, diesem Theile in jeder Hinsicht gleiche Saite dazu gebraucht.

---

1) *Chladni* S. 14—16. 27. 31. — *Opelt* S. 3. — v. *Baer* I. S. 279. Wie sich die andern klingenden Körper von Seiten ihrer Länge verhalten, s. § 29. 2) Ich sage mit gutem Bedacht »*schwingende*« Saite (und zwar ohne Schwingungsknoten), weil nicht auf der Länge einer Saite schlechthin die Höhe des Tones beruht, sondern auf der Länge der *schwingenden* Theile. So geben 2 in jeder Hinsicht einander gleiche Saiten 2 verschiedene Töne, wenn man mittelst eines Steges, den man unter der einen angebracht, diese nöthigt, nur einem Theile nach zu schwingen.

Länge der schwingenden Saite.	Töne der verschiedenen Seitenlängen.
Schwingt die ganze Saite,	so bringt sie ihren Grundton hervor,
» $\frac{1}{2}$ derselben,	» » » dessen nächst höhere Octave hervor,
» $\frac{1}{3}$ »	» » » die Quinte der nächst höhern Octave hervor,
» $\frac{1}{4}$ »	» » » » 2te höhere Octave hervor,
» $\frac{1}{5}$ »	» » » » grosse Terz dieser 2ten Octave hervor,
» $\frac{1}{6}$ »	» » » » Quinte dieser 2ten Octave hervor,
» $\frac{1}{8}$ »	» » » » 3te höhere Octave hervor,
» $\frac{1}{9}$ »	» » » » Secunde dieser 3ten Octave hervor,
» $\frac{1}{10}$ »	» » » » grosse Terz dieser 3ten Octave hervor,
» $\frac{1}{12}$ »	» » » » Quinte dieser 3ten Octave hervor,
» $\frac{1}{15}$ »	» » » » Septime dieser 3ten Octave hervor,
» $\frac{1}{16}$ »	» » » » 4te höhere Octave hervor.

Wenden wir dieses auf eine Saite an, die, wenn sie ganz und ohne Schwingungsknoten schwingt, den Ton des sogenannten grossen C gibt, so erhalten wir, wenn wir nach einander bloss die hier angegebenen Theile schwingen lassen, folgende Töne:

$$\frac{1}{2},\ \frac{1}{3},\ \frac{1}{4},\ \frac{1}{5},\ \frac{1}{6},\ \frac{1}{8},\ \frac{1}{9},\ \frac{1}{10},\ \frac{1}{12},\ \frac{1}{15},\ \frac{1}{16},$$

$$c,\ g,\ \bar{c},\ \bar{e},\ \bar{g},\ \bar{\bar{c}},\ \bar{\bar{d}},\ \bar{\bar{e}},\ \bar{\bar{g}},\ \bar{\bar{h}},\ \bar{\bar{\bar{c}}}.$$

Anmerkung. Eben diese Töne gibt aber eine Saite auch, wenn sie sich in aliquote Theile eintheilt, deren jeder mit einer dieser Längen übereinkommt. Theilt sie sich z. B. in 2 gleiche Theile, deren jeder $\frac{1}{2}$ der ganzen schwingenden Länge ist, so gibt sie ebenso die Octave des Grundtons, als wenn nur eine dieser Hälften überhaupt schwänge. Dieses kommt daher, weil bei der Eintheilung des Körpers in aliquote Theile jeder dieser Theile für sich den Ton hervorbringt, der seiner Länge entspricht. Daher könnte man z. B. an jene 2 Hälften einer Saite noch 20 und mehr eben solche Hälften ansetzen, ohne dass die Tonhöhe geändert würde, wenn alle diese Theile so wie zuvor jene 2 Hälften schwängen (vgl. S. 467 ff.). Ob man also eine Saite als 3 Drittel oder nur Ein Drittel davon, ob man sie als 4 Viertel oder nur Ein Viertel derselben schwingen lässt, ändert in der jedesmaligen Tonhöhe nichts. Man wird deshalb die hier angegebenen Töne als ganz identisch mit der S. 110. (u. 128 f.) angegebenen Reihe der Beitöne erkennen und dadurch zugleich in den Stand gesetzt sein, auch hier die Reihe bis zu $\frac{1}{32}$ fortzuführen.

Suchen wir auf diese Weise das Verhältniss der Töne Einer Octave, gleichviel welcher, da sich dasselbe unter den zu einerlei Octave gehörigen Tönen stets gleich bleibt, zu bestimmen, so ergeben sich folgende Verhältnisse der Längen zu den Tönen (3).

Intervalle des Grundtons.		Länge der schwingenden Saiten.	
Grundton, Prime	C : C	1	1,00000
Übermässige Prime	C : Cis	$\frac{24}{25}$	0,96000
Kleine Secunde	D : Es	$\frac{15}{16}$	0,93750
	C : Des	$\frac{25}{27}$	0,92592
Grosse Secunde	D : E	$\frac{9}{10}$	0,90000
	C : D	$\frac{8}{9}$	0,88888
Verminderte Terz	C : Eses od. Cis : Es	$\frac{125}{144}$	0,86805
Übermässige Secunde	D : Eis	$\frac{108}{125}$	0,86400
	C : Dis	$\frac{64}{75}$	0,85333
Kleine Terz	C : Es	$\frac{5}{6}$	0,83333

3) Man findet die folgende Tabelle bei *Chladni* S. 27. 31. — *Opelt* S. 13. vgl. *Biot* II. S. 39.

Intervalle des Grundtons.		Länge der schwingenden Saiten.	
Grosse Terz	C : E	$\frac{4}{5}$	0,80000
Verminderte Quarte	C : Fes	$\frac{25}{32}$	0,78125
Übermässige Terz	C : Eïs	$\frac{96}{125}$	0,76800
(Vollkommene) Quarte	C : F	$\frac{3}{4}$	0,75000
Übermässige Quarte	C : Fis	$\frac{18}{25}$	0,72000
Verminderte (oder kleine) Quinte	C : Ges	$\frac{25}{36}$	0,69444
(Vollkommene, oder grosse, oder reine) Quinte	C : G	$\frac{2}{3}$	0,66666
Übermässige Quinte	C : Gis	$\frac{16}{25}$	0,64000
Kleine Sexte	C : As	$\frac{5}{8}$	0,62500
Grosse Sexte	C : A	$\frac{3}{5}$	0,60000
Verminderte Septime	D : ces	$\frac{75}{128}$	0,58593
	C : B^{b} od. Cis : B	$\frac{125}{216}$	0,57870
Übermässige Sexte	C : Aïs	$\frac{72}{125}$	0,57600
Kleine Septime	D : c	$\frac{9}{16}$	0,56250
	C : B	$\frac{5}{9}$	0,55555
Grosse Septime	C : H	$\frac{8}{15}$	0,53333
Verminderte Octave	C : ces	$\frac{25}{48}$	0,52083
Übermässige Septime	C : His	$\frac{64}{125}$	0,51200
(Vollkommene) Octave	C : c	$\frac{1}{2}$	0,50000

Bei den gemeinen Brüchen bezieht sich, eben so wie oben, der Nenner auf den Grundton, der Zähler auf den höhern Ton, dessen Verhältniss zu jenem bestimmt werden soll. Z. B. die Zahl $\frac{24}{25}$ für Cis zeigt an, dass C : Cis in Hinsicht der Länge der Saiten sich verhält wie 25 : 24, dass nämlich, wenn von 2 an Stoff, Form und Spannung einander ganz gleichen Saiten die eine C, die andere Cis als Grundton hervorbringt, die letztere um $\frac{1}{25}$ kürzer als die erstere ist, oder, was auf dasselbe hinauskommt, dass eine Saite, die, wenn sie ganz schwingt, C als Grundton gibt, Cis hervorbringt, sobald man nur $\frac{24}{25}$ von ihr schwingen lässt oder sie um $\frac{1}{25}$ verkürzt.

Dass hier die Zahlen mit gleicher Ausführlichkeit wie oben sind angegeben worden, geschah deshalb, um sowohl

die Umgekehrtheit des Verhältnisses der Seitenlängen im Vergleich mit dem der Schwingungszahlen, als auch die Identität der Zahlen der Saitenlängen mit denen der Schwingungszeiten recht anschaulich zu machen.

§ 39.

Consonanzen, Dissonanzen, Accord, Melodie, Harmonie.

Jene Intervalle treten nun theils nach einander in einer Folge von Tönen, theils gleichzeitig ein, indem 2 oder mehrere durch Schwingungen klingender Körper erregte Wellenzüge der Luft zugleich an das Ohr anschlagen können. Ist die durch das Zusammentreffen derselben in unserem Ohre erregte Empfindung eine mehr oder weniger angenehme, so nennt man die durch diese Wellenzüge erregten Töne mehr oder weniger *consonirende Zusammenklänge;* ist diese Empfindung aber mehr oder weniger unangenehm, so nennt man die Töne mehr oder weniger *dissonirende Zusammenklänge.* Sind der unser Ohr zugleich treffenden Töne nur 2, so heissen sie *Zweiklänge*, und nach jenem verschiedenen Eindrucke *Consonanzen* oder *Dissonanzen*; sind ihrer aber 3 oder 4, so nennt man sie *Drei-* oder *Vierklänge* ([1]). Von weiterem Umfange ist der Name *Accord*, weil er jede schickliche gleichzeitige Verbindung mehrerer Töne bezeichnet ([2]). Man gebraucht dafür auch *Harmonie*, indem man z. B. statt *Septimen-Accord* auch *Septimen-Harmonie* sagt ([3]); gewöhnlich aber bezeichnet dieses Wort eine Aufeinanderfolge mehrerer Accorde, so dass zwischen Harmonie in dieser letztern Bedeutung und Accord dasselbe Verhältniss besteht wie zwischen Melodie und einem einzelnen Tone. Dieser Name *Melodie* aber

---

1) Diesen letztern Ausdruck gebraucht namentlich *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 200. 203. u. a. 2) *Chladni* S. 3. 3) *G. Weber* A. Accord, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. I. S. 268.

bezeichnet eine Tonreihe, in welcher sich ein gewisses Gefühl anschaulich, d. i. in bestimmten Formen klar und rein ausprägt ([4]). *Harmonie* enthält zwar schon vollständig Ein Accord, meistens aber versteht man darunter, wie eben gesagt, eine Aufeinanderfolge mehrerer Accorde, eine Verbindung paralleler Melodien.

§ 40.

Eintheilung der Accorde.

Da die bei den Accorden gleichzeitig erklingenden Töne mit einander theils consoniren, theils dissoniren, so theilt man die Accorde in dieser Hinsicht in *consonirende* und *dissonirende* ein ([1]). Zu den erstern wird erfordert, dass von den zusammenklingenden Tönen jeder mit jedem consonire ([2]). *Dissonirender Accord* wird derjenige genannt, welcher ein oder mehrere dissonirende Intervalle enthält; meistens enthält er nur eins ([3]). Neben dieser allgemeinern Eintheilung besteht eine andere, speciellere, nach den darin enthaltenen Intervallen. Da der möglichen Verbindungen der Intervalle sehr viele sind, so erhält man nach diesem letztern Eintheilungsprincipe, wie Koch's Tabelle ([4]) zeigt, eine grosse Zahl von Accorden. Man hat diese dadurch

---

4) So erklärt das Wort *Hand*: Ästhetik d. Tonkunst. Th. I. (Leipzig, 1837.) S. 106. Mehrere andere Definitionen findet man hier S. 102 ff. angeführt und beurtheilt. Über Harmonie s. ebend. S. 116. Ähnlich wie *Hand* definirt *Fink* in s. musik. Grammatik S. 139. *Melodie* durch »eine Folge einzelner Töne, oder eine auf einander folgende Tonreihe, die in sich zusammenhangend ist und irgend eine Empfindung ausdrückt. Das deutsche Wort dafür ist *Weise*.« *Accord* bedeutet, ihm zufolge S. 194, einen Zusammenklang von mindestens 3 Tönen verschiedener Stufen, von denen eine zuweilen einmal nach einander im Einklange sich vereinigen kann. *Harmonie* bedeutet, nach S. 186.: 1) s. v. a. Accord, 2) specieller: solche Zusammenklänge, welche vorzüglich angenehm in das Gehör fallen, 3) die Verbindung der Accorde zu ganzen Musiksätzen.

1) *Chladni* S. 12 f. 18 f. — *W. Weber*: Akust. S. 5. — Vgl. *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 279 ff., welcher von den gewöhnlichen Ansichten mehrfach abweicht. *Fink* definirt in s. musikal. Gramm. S. 194. *consonirende Accorde* als »solche, die an und für sich wohlklingen und befriedigen«, *dissonirende Accorde* als »solche, die erst in ihrer Verbindung mit andern, und namentlich mit den erstern befriedigen und angenehm werden.«
2) Vgl. *Chladni* S. 12. 3) Ebend. S. 18. 4) In s. mus. Lex. S. 107—126. S. auch *Fink*: musikal. Gramm. S. 194 ff.

vereinfacht, dass man diejenigen, welche mehr oder weniger wesentliche Merkmale mit einander gemein haben, hiernach in Hauptarten geordnet, und die unter eine solche Hauptart gebrachten einzelnen Fälle als Unter- oder Spielarten derselben aufgestellt, oder, um nach dem Sprachgebrauche der Theoretiker dieser Wissenschaft zu reden, dass man mehrere verschiedene Accorde auf wenige *Grundaccorde*, oder, wie man sie auch nennt, *Grundharmonien* zurückgeführt hat. Die Grundaccorde, auf welche wir alle mögliche musikalische Zusammenklänge zurückführen können, sind nach G. Weber (5) hauptsächlich zweierlei, nämlich *Dreiklangsharmonien* oder *Dreiklänge*, und *Septimenharmonien*.

§ 41.

1. *Dreiklang oder Dreiklangsharmonie.*

a) *Grundform* oder *Grundstellung* (1) desselben.

Diese besteht in dem Zusammenklingen eines Tones mit einem andern, der um eine Terz höher ist als jener, und mit einem dritten, der um eine Quinte höher ist als der erste, oder, mit andern Worten: er ist die Verbindung eines Tones mit seiner Terz und Quinte, z. B. c e g. Der Ton, von welchem an die übrigen gezählt werden, heisst *Grundton* oder *Tonica*, die Quinte wird auch *Dominante*, und die Terz, weil sie bei dieser Reihenfolge zwischen beiden steht, auch *Mediante* genannt. Die Unterarten des Dreiklanges lassen sich leicht nach der Beschaffenheit der beiden Terzen ordnen, in welche der Raum von dem Grundtone bis zur Quinte zerfällt.

---

5) A: Accord, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. I. S. 268.

1) Den letztern Namen gebraucht *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 214. — *Fischer*: über d. akust. Verh. d. A. S. 21. gebraucht dafür den Ausdruck: *ursprünglicher* oder *Stamm-Accord.*

aa) Die eine Terz ist eine *grosse*, die andere eine *kleine*.

α) Die *grosse* steht, vom Grundtone aufwärts gezählt, *vor* der kleinen. Der Dreiklang bei dieser Folge der Terzen heisst der *grosse* oder *harte Dreiklang, Dur-Dreiklang, Dur-Accord*, bestehend aus Grundton, grosser Terz und grosser (reiner) Quinte, z. B. c e g, welche, dem Obigen zufolge, sich zu einander verhalten wie $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$, oder, in ganzen Zahlen, wie 4 : 5 : 6.

β) Die *kleine* steht *vor* der grossen. Bei dieser Reihenfolge heisst er der *kleine* oder *weiche Dreiklang, Moll-Dreiklang, Moll-Accord*, bestehend aus Grundton, kleiner oder weicher Terz und grosser (reiner) Quinte, z. B. c es g, a c e, deren Zahlenverhältniss $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2}$, oder in ganzen Zahlen 10 : 12 : 15 ist.

bb) Beide Terzen sind *kleine*. Dann heisst er der *weichverminderte* oder schlechtweg der *verminderte Dreiklang*. Er besteht aus Grundton, kleiner Terz und kleiner (verminderter) Quinte, z. B. c es ges, a c es, welche wie $1 : \frac{6}{5} : \frac{36}{25}$ oder wie 25 : 30 : 36 sich verhalten. (Man redet auch von einem *hartverminderten* Dreiklange, welcher die grosse Terz und verminderte Quinte enthält, z. B. h dis f, und von einem *doppelt verminderten* Dreiklange, der aus der verminderten Terz und verminderten Quinte besteht, z. B. dis f a (2).)

cc) Beide Terzen sind *grosse*. In diesem Falle nennt man ihn den *übermässigen Dreiklang*, bestehend aus Grundton, grosser Terz und übermässiger Quinte, deren Zahlenverhältniss $1 : \frac{5}{4} : \frac{25}{16}$ oder 16 : 20 : 25 ist,

---

2) *Koch*: mus. Lex. S. 109 f.

z. B. c e gis. Dieser Accord wird jedoch jetzt von Vielen nicht mehr als solcher anerkannt.

b) *Umstellungen der Grundform.*

Unter diesen Umstellungen, oder, um mich des technischen Ausdruckes zu bedienen, *Verwechslungen* ([3]) eines Accordes versteht man solche Tonverbindungen, in welchen eben dieselben Töne wie in der Grundform vorkommen, nur dass 1 oder 2 Töne in eine höhere (oder tiefere) Octave gestellt sind, und zwar so, dass der ursprüngliche Grundton, d. h. der Ton, welcher in der Grundform der tiefste ist, dadurch aufgehört hat, tiefster zu sein. Da bei 3 Tönen nur dreierlei Stellungen möglich sind, so finden bei diesem Accorde nur zweierlei Verwechslungen Statt.

aa) Die erste Verwechslung der Grundform ist diejenige Lage der Töne, wo, statt des bisherigen Grundtons (z. B. des c in c e g), dessen *Terz tiefster Ton* geworden ist, z. B. e g c̄. Durch diese Umstellung ist die frühere Quinte zur Terz, und der frühere Grundton zur *Sexte* geworden. Daher nennt man den Accord in dieser Gestalt *Sextaccord.* Er zerfällt wieder in mehrere Unterarten nach der verschiedenen Beschaffenheit seiner Terz und Sexte. Da die Ursache dieser Verschiedenheit in der Verschiedenheit der Grundform liegt, aus welcher der Sextaccord entstanden ist, so ist die Zahl der Unterarten des letztern der der Unterarten der Grundform gleich. Wir begnügen uns indess, weil die ausführlichere Behandlung der Lehre von den Accorden nicht sowohl in die Akustik, als in die Theorie der Musik gehört, hier nur die beiden Unterarten anzugeben, die aus der Umstellung des harten und weichen Dreiklangs, z. B. c e g, c es g, entstehen. Da die erste Terz

3) *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 213. — *Fischer* a. a. O.

c e, c es durch die Verwandlung von c e g, c es g in e g c̄, es g c̄ wegfällt, so bleibt von den oben als charakteristisch aufgestellten beiden Terzen nur die zweite zwischen der frühern Terz (die hier nun tiefster Ton ist) und der frühern Quinte (die hier zur Terz geworden) liegende e g, es g. Diese ist

α) entweder *klein*. Nothwendig ist dann auch die Sexte *klein*. So in dem aus dem Duraccorde entstandenen Sextaccorde, z. B. e g c̄, der deshalb der *Dursextaccord* heisst. Seine Töne verhalten sich wie $1 : \frac{6}{5} : \frac{8}{5}$ oder 5 : 6 : 8.

β) oder die Terz ist *gross*. Dann muss auch die Sexte gross sein. So finden wir es in dem aus dem Mollaccorde entstandenen Sextaccorde, z. B. es g c̄, und nennen ihn daher *Mollsextaccord*. Das Verhältniss seiner Töne ist wie $1 : \frac{5}{4} : \frac{5}{3}$ oder wie 12 : 15 : 20.

Die übrigen Unterarten des Sextaccordes übergehe ich hier, auf Koch: mus. Lex. S. 109 f. verweisend.

bb) Die zweite Verwechslung der Grundform jenes Accordes ist diejenige Lage seiner Töne, wo, statt des ursprünglichen Grundtons (z. B. c in c e g), dessen *Quinte tiefster Ton* geworden ist, z. B. g c̄ ē, G c e, wodurch an die Stelle der beiden Intervalle der Grundform, nämlich der Terz und Quinte, die Quarte und Sexte getreten sind. Daher wird der Accord in dieser Gestalt *Quart-Sextaccord* oder *Sext-Quartenaccord* genannt. Auch hier finden mehrere Unterarten Statt, jenachdem diese Umstellung aus dieser oder jener Unterart der Grundform entstanden ist. Abermals beschränken wir uns auf die Erwähnung der beiden aus dem Dur- und Mollaccord entstandenen Formen, die, wie die früher erwähnten,

am besten nach der durch den Zwischenraum der Quarte und Sexte gebildeten Terz sich charakterisiren lassen.

α) Diese *Terz* ist eine *grosse.* Dann ist auch die Sexte eine grosse. Dieser Accord entsteht durch Umstellung des Duraccordes, z. B. c e g in g $\bar{c}$ $\bar{e}$ und wird deshalb *Dur-Quart-Sextaccord* genannt. Er besteht aus der Quarte und grossen Sexte; seine Töne verhalten sich demnach wie $1 : \frac{4}{3} : \frac{5}{3}$ oder wie 3 : 4 : 5.

β) Jene *Terz* ist eine *kleine.* In diesem Falle ist die Sexte klein. Dieser Accord entspringt aus der Umsetzung des Mollaccordes, z. B. c es g in g $\bar{c}$ $\bar{es}$. Daher nennt man ihn *Moll-Quart-Sextaccord.* Er enthält eine Quarte und kleine Sexte. Das Verhältniss seiner Töne ist wie $1 : \frac{4}{3} : \frac{8}{5}$ oder wie 15 : 20 : 24.

Die übrigen Unterarten des Quart-Sextaccordes findet man bei Koch: mus. Lex. S. 111 f.

§ 42.

2. *Septimenaccord oder Septimenharmonie.*

a) *Grundform desselben.*

Diese besteht aus Grundton, Terz, Quinte und Septime, mithin aus dem Dreiklange mit einer hinzugefügten dritten Terz, die mit dem Grundtone das Intervall der Septime bildet. Nach der Beschaffenheit dieses neu hinzugekommenen Intervalles zerfällt dieser Accord zunächst in 3 Unterarten: in den *kleinen*, den *grossen* und den *verminderten Septimenaccord.*

aa) *Kleiner Septimenaccord.*

Er heisst so, weil seine Septime klein ist. Er theilt sich nach der verschiedenen Beschaffenheit der beiden andern Intervalle, der Terz und Quinte, in mehrere Unter-

abtheilungen, die wir am besten nach der Terz ordnen. Diese ist

α) entweder *gross*. Dann ist auch die *Quinte* stets eine *grosse* oder *reine*. Der Accord besteht hiernach aus Grundton, grosser Terz, grosser Quinte und kleiner Septime, also aus dem harten Dreiklange mit beigefügter kleiner Septime, z. B. c e g b. Diese Töne verhalten sich zu einander wie $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} : \frac{9}{5}$ oder wie 20 : 25 : 30 : 36. Da dieser Accord von allen Septimenaccorden am häufigsten vorkommt und in sofern der wichtigste ist, so nennt man ihn *Haupt-Septimenaccord*, *Haupt-Septimenharmonie*, auch *Haupt-Vierklang* ([1]).

β) oder die *Terz* ist *klein*. Hierbei kann die *Quinte* verschiedener Art sein:

αα) sie ist *gross*. Der Accord besteht demnach aus Grundton, kleiner Terz, grosser Quinte und kleiner Septime; mithin aus dem weichen Dreiklange mit hinzugefügter Septime, z. B. c es g b. Das Verhältniss seiner Töne ist wie $1 : \frac{6}{5} : \frac{3}{2} : \frac{9}{5}$ oder wie 10 : 12 : 15 : 18. Man nennt ihn den *kleinen Septimenaccord mit kleiner Terz*, oder kurzweg nur *Septimenaccord mit kleiner Terz und grosser Quinte* (weil er der einzige Septimenaccord ist, welcher kleine Terz und grosse Quinte vereinigt), oder auch *weicher Septimenaccord*, *weicher Vierklang* ([2]), weil er aus einem *weichen* Dreiklange mit der Septime besteht.

ββ) Die *Quinte* ist *klein*. Die Töne dieses aus Grundton, kleiner Terz, kleiner Quinte und kleiner Septime bestehenden Accordes, z. B. c es ges b, verhal-

---

1) Die beiden erstern Namen findet man in *G. Weber's* A. Accord, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. I. S. 269., den letzten in dess. Theorie d. T. I. S. 207. 2) S. *G. Weber* A. Accord a. a. O. S. 269. und Theorie d. T. I. S. 208.

ten sich wie $1 : \frac{6}{5} : \frac{36}{25} : \frac{9}{5}$ oder wie 25 : 30 : 36 : 45. Er heisst der *kleine Septimenaccord mit kleiner Quinte.*

bb) *Grosser Septimenaccord.*

Er enthält die grosse Septime, und ist nur von einerlei Art, denn er besteht überall aus Grundton, grosser Terz, grosser Quinte und grosser Septime, z. B. c e g h, die sich zu einander verhalten wie $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} : \frac{15}{8}$ oder wie 8 : 10 : 12 : 15.

cc) *Verminderter Septimenaccord.*

Er besteht aus Grundton, kleiner Terz, kleiner Quinte und verminderter Septime, z. B. e g b des, die sich zu einander verhalten wie $1 : \frac{6}{5} : \frac{36}{25} : \frac{128}{75}$ oder wie 75:90:108:128.

b) *Umstellungen der Grundform des kleinen Septimenaccordes.*

Da in diesem Accorde 4 Töne verbunden sind, so sind viererlei Zusammenstellungen, mithin neben der schon erwähnten Grundstellung dreierlei Umstellungen oder Verwechslungen möglich.

aa) Die erste Verwechslung der Grundform ist diejenige Lage der Töne, wo statt des ursprünglichen Grundtons die *Terz tiefster Ton* geworden, z. B. e g b c statt der Grundform c e g b. Er heisst *Sext-Quinten-* oder *Quint-Sextenaccord.*

bb) Bei der zweiten Verwechslung wird die *Quinte tiefster Ton*, z. B. g b c e statt der Grundstellung c e g b. Man nennt ihn *Quart-Terz-*, oder *Terz-Quarten-*, oder *Terz-Quart-Sextenaccord* ([3]).

cc) Durch die dritte Verwechslung erhält die *Septime* die *tiefste Stelle*, z. B. b c e g. Dieser Accord führt die Namen *Secund-Sext-Quarten-*, *Quart-Secunden-* und *Secundenaccord* ([4]).

---

3) Die beiden erstern Namen findet man bei *Koch*: mus. Lex. S. 113 f. und *Fischer*: üb. d. akust. Verh. d. A. S. 21., den letzten bei *Chladni* S. 18.

4) Den ersten vollständigsten Namen gibt ihm *Chladni* S. 18., den zweiten *Fischer* a. a. O. S. 21., den dritten *Koch* a. a. O. S. 115 f.

Die genauere Angabe der in diesen 3 Accorden enthaltenen Intervalle sehe man in Koch: mus. Lex. S. 113—116.

So wie der Dur- und Moll-Dreiklang als Grundform der consonirenden Accorde zu betrachten ist, so der Septimenaccord als Grundform der dissonirenden. Viele Dissonanzen entstehen dadurch, dass eine einzelne Stimme einen Ton aus einem Accorde noch aushält, während die andern Stimmen schon zum folgenden Accorde fortgeschritten sind, dem dieser ausgehaltene Ton fremd ist. Ein solcher durchgehaltener Ton wird *Vorhalt* genannt. — Das Ausführlichere über diesen ganzen Gegenstand s. in G. Weber: Theorie der Tonsetzkunst Bd. I. S. 197 ff. Denn dieses gehört, wie ich schon oben gesagt, nicht sowohl in die Akustik, als vielmehr in die Theorie der Musik.

§ 43.

Ursache des Consonirens und Dissonirens.

Bei dem bisher mehrmals erwähnten Consoniren und Dissoniren muss sich jedem Nachdenkenden die Frage aufdrängen, *worauf denn dieses Consoniren und Dissoniren beruhe.* Diese Frage ist für die ganze Klanglehre zu wichtig, als dass wir den Versuch, sie zu beantworten, hier unterlassen dürften. Obgleich die Antworten Anderer hierauf mannichfach von einander abweichen, so stimmen doch die Meisten darin überein, dass, ob eine gleichzeitige Vereinigung von Tönen con- oder dissonirend und in welchem Grade sie jenes oder dieses sein solle, von der grössern oder geringern Einfachheit des Schwingungsverhältnisses jener Töne, oder, mit andern Worten, davon abhange, ob das Verhältniss der zur Hervorbringung derselben nöthigen Schwingungen in mehr oder weniger kleinen Zahlen sich ausdrücken lässt ([1]). Um dieses noch deutlicher zu ma-

---

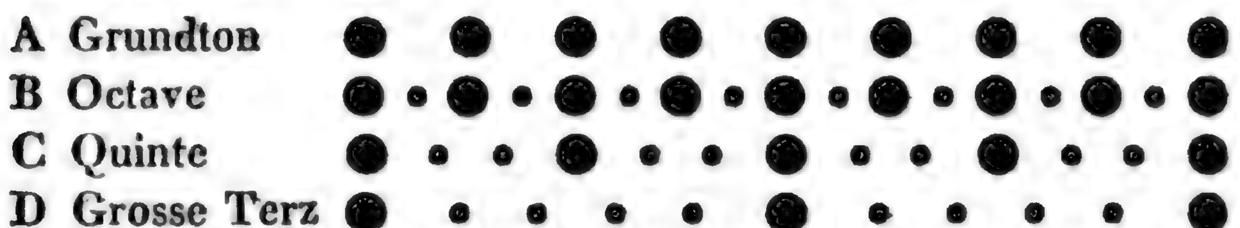
1) *Chladni* S. 8 f. — *v. Baer* I. S. 278. 283. — *Opelt* S. 3. 17. — *W. Weber* a. a. O. S. 5. — Mit Unrecht verwirft diese Ansicht sammt der ganzen Eintheilung der Töne in

chen, füge ich Folgendes bei. Die Beurtheilung der verschiedenen Höhe der Töne besteht in einer *blossen Gefühlszählung mittelst des Gehörsinnes.* Dieser vernimmt aber nicht nur die Schnelligkeit der Schwingungen überhaupt, sondern auch, wenn mehr als ein Wellenzug zugleich an das Ohr anschlägt, wie oft eine Welle des einen Wellenzuges beim Anschlagen an das Ohr mit der eines oder mehrerer andern Wellenzüge zusammentrifft. Es ist aus dem Obigen bekannt, wie sich die Töne von Seiten der Schnelligkeit der sie erzeugenden Schwingungen zu einander verhalten, dass namentlich ein klingender Körper B, dessen Ton eine Octave höher ist als der eines andern A, in demselben Moment 2 Mal schwingt, wo A, der in Bezug auf B den Grundton hervorbringt, nur Eine Schwingung macht; dass ferner ein die Quinte dieses Grundtons gebender Körper C in demselben Moment stets 3 Schwingungen macht, während A deren 2 vollbringt; dass ein die grosse Terz desselben Grundtons hervorbringender Körper

---

Con- und Dissonanzen *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 283 ff. — Der Mensch ergötzt sich, wie *Kepler* in s. berühmten Harmonia mundi (s. *Pfaff*'s Aufs. darüber in *J. S. C. Schweigger*'s Journal für Chemie und Physik Bd. X. S. 37.) bemerkt, an der Betrachtung und Hervorbringung derjenigen regulären Objecte, deren Verhältnisse einfach, durch unverworrene arithmetische Operation bestimmbar sind. Dahin gehören als Objecte der Gesichtsempfindung die regulären Dreiecke, Vierecke, Fünfecke u. s. w. der Elementargeometrie, deren Construction leicht ist. Ausgeschlossen sind Siebeneck u. s. w., welche auf höhere Gleichungen führen. Eben so gehören hieher als Objecte der Gehörsempfindung diejenigen Intervalle, deren Verhältnisszahlen eben diese arithmetische Einfachheit haben, und deshalb dem Ohre leicht verständlich sind. Ich füge hier, ihrer Wichtigkeit wegen, noch folgende Stelle aus *Chladni*'s Abh. »Über d. wahre Ursache des Consonirens und Dissonirens« (in d. Leipz. Allgem. mus. Zeitung Jahrg. 1801. Nr. 21. S. 353.) bei: »Der wahre Grund des Consonirens und Dissonirens liegt unstreitig bloss in der mehrern oder mindern Einfachheit der Tonverhältnisse. Diese fühlt das Gehör sogleich ohne weitere Berechnung ungefähr eben so, wie das Auge in der Baukunst sowohl als auch an andern Gegenständen die mehr oder weniger einfachen Verhältnisse der Dimensionen, oder auch die mehr oder weniger symmetrische Anordnung sogleich bemerkt, ohne dass man erst nöthig hat, zu untersuchen, was es eigentlich für Verhältnisse sind. *Leibnitz* sagt hierüber in epist. ad diversos tom. I. epist. 134. sehr richtig: Musica est exercitium arithmeticae occultum nescientis se numerare animi; multa enim facit in perceptionibus confusis seu insensibilibus, quae distincta apperceptione notare nequit. Errant enim, qui nihil in anima fieri putant, cuius ipsa non sit conscia. Anima igitur etsi se numerare non sentiat, sentit tamen huius numerationis insensibilis effectum, seu voluptatem in consonantiis, molestiam in dissonantiis inde resultantem. Ex multis enim congruentiis insensibilibus oritur voluptas.«

D 5 Schwingungen in derselben Zeit macht, in welcher A 4 zurücklegt. Die durch diese Schwingungen in der Luft erzeugten Wellenzüge, die als 4 Reihen neben einander nach dem Ohre hin fortschreiten, wollen wir uns durch 4 Reihen von Punkten versinnlichen, welche in demselben Verhältnisse zu einander stehen, wie in jenen Wellenzügen die Wellen.



Hieraus ersieht man, dass in der Reihe B jede zweite Welle mit jeder der Reihe A, in der Reihe C jede dritte Welle mit jeder zweiten von A, in der Reihe D jede fünfte Welle mit jeder vierten von A zugleich an das Ohr anschlägt. Diese in demselben Moment das Ohr berührenden Wellen sind durch stärkere Punkte hervorgehoben. Fragt man, wie das Ohr dieses Zusammentreffen solcher Wellen vernehmen könne, so dient zur Antwort: durch die Intensität der Empfindung, welche dadurch, dass 2 oder mehrere in demselben Moment an das Ohr anschlagen, nothwendig bewirkt wird (2), während eine Welle, die in in dem Moment, wo sie das Ohr berührt, nicht mit einer andern hier zusammentrifft, eine schwächere Empfindung erzeugt. Uns unbewusst zählt das Gefühl die zusammentreffenden Pulse. Trifft, wie bei der mit dem Grundtone verbundenen Octave, jede zweite Welle mit jeder der andern Reihe zusammen, so bleibt das Gefühl *ruhig*, weil die blosse Zählung bis 2 ihm leicht ist. Trifft dagegen, wie bei der Verbindung von A und C, oder des Grundtons und

2) Dieses nach gewissen Zeiten periodisch wiederkehrende Zusammenfallen der Schwingungen zweier tönenden Körper eben so wie das zweier Pendel nennt man *Schweben* und ein einzelnes Zusammenfallen der Art eine *Schwebung*, s. *W. Weber*: Compensation der Orgelpfeifen, in d. Cäcilia Bd. XI. S. 191. und Akust. S. 12. — *Fischer*: üb. d. akust. Verh. d. A. S. 14.

der Quinte, jede dritte Welle der einen Reihe mit jeder zweiten einer andern zusammen, so wird nicht bloss die Gefühlszählung in der einen Reihe gesteigert, sondern sie ist auch in der andern Reihe nicht mehr so einfach als bei dem erstern Falle. Daher wird das Gefühl bei diesem zweiten Reihenpaare *lebendig*. Höher steigt diese Lebendigkeit und *neigt sich zur Aufregung hin*, wenn, wie bei der Verbindung von A und D oder des Grundtons mit der grossen Terz, jede fünfte Welle der einen Reihe mit jeder vierten der andern zusammen das Ohr berührt, weil hier in beiden die Zahlen für die Gefühlszählung grösser geworden sind. Dass es bei einer solchen Steigerung nicht bloss auf die Zahl der einen Reihe, sondern auch auf die der andern ankomme, erkennt man z. B. aus der Vergleichung des Eindrucks, den der Grundton mit der grossen Terz auf uns macht, und desjenigen, welchen der Grundton in Verbindung mit der grossen Sexte hervorbringt. Sowohl in der Terz- als in der Sexten-Reihe hat das Gefühl bis 5 zu zählen. Dessen ungeachtet ist jene Verbindung dem Ohre wohlgefälliger als diese, weil bei jener jede fünfte Schwingung mit der vierten des Grundtons, bei dieser hingegen jede fünfte Schwingung mit jeder dritten des Grundtons zusammenfällt. Je grösser nun bei den verschiedenen Intervallen dem Obigen zufolge die Verhältnisszahlen werden, desto grösser wird auch für das Gefühl die Schwierigkeit, sie zu übersehen, desto grösser mithin auch die *Aufregung* desselben. Daher ist eine Verbindung von Tönen nur dann wohlgefällig oder consonirend, wenn sich das Verhältniss ihrer Schwingungen oder Pulse nach den einfachen Gefühlsmaassen 2, 3, 4 und höchstens 5 übersehen lässt ([3]), und eine das Gefühl aus dem angegebenen Grunde stark aufregende Dissonanz geht deshalb in eine Consonanz über, oder wird, nach dem Kunstausdrucke,

3) *Opelt* S. 41.

darein *aufgelöst* (4), um diese Aufregung zu stillen. Zwar wird auch, wie bereits erwähnt wurde, schon bei den Intervallen, in deren Verhältnisszahlen 3, 4, 5 sich finden, das Gefühl lebendig und neigt sich zur Aufregung hin; allein die völlige Aufregung erfolgt erst bei den nächst höhern; störend und widrig aber wird diese erst bei den noch höhern (5). Deshalb nimmt man zwischen den vollkommenen Consonanzen und Dissonanzen noch gewisse Übergangs- oder Grenzverhältnisse, oder, wie man sie auch nennt, unvollkommene Consonanzen und Dissonanzen an (6). Die vollkommenen Consonanzen sind: die Octave (1:2), die Quinte (2:3) und die Quarte (3:4). Unvollkommene Consonanzen sind: die grosse Terz (4:5), die kleine Terz (5:6), die kleine Sexte (5:8) und die grosse Sexte (3:5). Unvollkommene Dissonanzen sind: die grosse Secunde (8:9) und die kleine Septime (9:16). Vollkommene Dissonanzen sind: die kleine Secunde (15:16), die grosse Septime (8:15) und die verminderte (oder falsche) Quinte (25:36) (7) und ausserdem alle Intervalle, welche in der S. 634 f. aufgestellten Tabelle verminderte oder übermässige genannt sind.

Anmerkung. Weitere Untersuchungen über die Ursache des Consonirens und Dissonirens findet man in d. Leipz. Allg. musik. Zeitung Jahrg. 1801. Nr. 20. 21. S. 337 ff. 353 ff. und Jahrg. 1800. Nr. 20. 21. 22. 25. 26. 27. S. 348 ff. 361 ff. 385 ff. 433 ff. 449 ff. 465 ff. u. Hand: Ästhetik d. Tonkunst Th. I. S. 131 ff.

§ 44.

Widerlegung gewisser Einwürfe gegen jene Erklärung.

Diese von den Physikern aufgestellte Erklärung des Consonirens zieht v. Baer sehr in Zweifel. Seiner Einwürfe (1) sind vornehmlich 2:

---

4) Ausführlicheres über Auflösung s. in *G. Weber*: Theorie d. T. III. § 313—342, u. s. A. Auflösung, in d. Hall. Encycl. Sect. I. Th. VI. S. 311 ff. 5) Vgl. *Opelt* S. 17. 6) Ebend. S. 47. 32. vgl. *Chladni* S. 9. 11. 7) v. *Baer*: Anthropol. Bd. I. S. 283.

1) Anthropol. Bd. I. S. 284 ff.

1) dass eine geringere Unreinheit eines Tones, durch Verstimmung eines Instrumentes hervorgebracht, minder unerträglich ist als eine grössere; und dass wir die Töne gewöhnlich nicht so hören, wie das Schwingungsverhältniss sie bestimmt, sondern temperirt (s. unten) und dennoch sie für rein halten.

Diese beiden Einwürfe laufen auf den gemeinschaftlichen Punkt hinaus, dass das Ohr eine geringe Abweichung von der Reinheit entweder gar nicht wahrnimmt oder doch erträglich findet. Dieses wird allgemein von der Erfahrung bestätigt, begründet aber noch keinen Einwurf gegen jene Erklärung, sondern zeigt nur, dass der Sinn, welcher überhaupt stets hinter der mathematischen Genauigkeit des Verstandes zurückbleibt, nicht bloss wirklich identische, sondern auch der Identität sehr nahe kommende Empfindungen für identische nimmt. Zu dieser *subjectiven Identificirung* einander sehr nahe kommender Empfindungen kommt aber, was besonders beachtet zu werden verdient, eine *objective Identificirung* einander sehr nahe kommender Schwingungen. So möchte ich, jener gegenüber, die Thatsache bezeichnen, dass nicht bloss mit dem reinen Schwingungsverhältniss übereinstimmende, sondern auch ihm bloss sehr nahe kommende Töne ([2]) ein Anklingen derselben, und zwar reinen Töne, und umgekehrt reine Töne ein Anklingen derselben, aber unreinen Töne bewirken können, wie S. 59 ff. 411. 415. 417 f. ausführlicher gezeigt ist, dass demnach nicht bloss objectiv

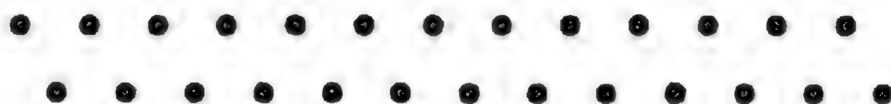
2) Als Grenze dieses Anklingens sowohl als auch des gleich zu erwähnenden Combinationstons ist diejenige Abweichung anzusehen, die etwas mehr als ein Siebentel eines ganzen Tones beträgt. Denn die Erfahrung lehrt, dass bei dem S. 60 f. erwähnten Anklingen der Saiten, welche den mit dem Grundtone C mittönenden harmonischen Tönen entsprechen, das Anklingen der nach der gleichschwebenden Temperatur gestimmten Saite der kleinen Septime $\bar{b}$ öfter unterbleibt als eintritt, weil dieser Ton nach dieser Stimmung um etwas mehr als ein Siebentel eines ganzen Tones höher ist als die harmonische Septime, s. *Fischer*: üb. d. akust. Verh. d. A. S. 7. 21.

reine, sondern auch dieser Reinheit nur sehr nahe kommende Töne objectiv Identisches bewirken. Auch muss hier erwähnt werden, dass, wenn 2 Töne von der Art sind, dass bei ihrem Zusammenklingen ein Combinationston vernommen werden kann (s. unten), dieser auch dann vernommen wird, wenn sie mit dem reinen Schwingungsverhältniss nicht ganz übereinstimmen, denn sonst würde ein solcher bei den temperirten Tönen unmöglich sein ([3]).

Endlich wirft er

2) die Frage auf: »Was würde aus der Octave werden, wenn ich c um $\frac{1}{100}$ Secunde später anschlage als C? Die Schwingungen würden nie zusammenfallen.«

Dieser Einwurf hält so wenig Stich wie der vorige. Ich erwähne zunächst einen parallelen Fall zur Erläuterung. Gesetzt, 2 verschiedene Stimmen oder Instrumente gäben den Ton c an, der (nach Opelt S. 10.) in einer Secunde 264 Schwingungen macht, das eine aber so, dass er erst anfinge zu tönen, nachdem der Ton des andern schon eine halbe Schwingung gemacht hat, so würden, der blossen Rechnung zufolge, allerdings die Anfangs- und Endpunkte sämmtlicher Schwingungen des Tones, der später begann, in die Mitte der Schwingungen des andern fallen, mithin 2 Reihen entstehen wie folgende:



Der Rechnung zufolge würde dann das Ohr die doppelte Schwingungszahl, 528, in einer Secunde vernehmen, mithin den um eine Octave höhern Ton $\bar{c}$, weil diesem

---

3) Vgl. *Fischer* a. a. O. S. 18. — Vielleicht ist auch die Thatsache, worauf *Chladni* aufmerksam gemacht hat, dass unreine Tonverhältnisse in der Entfernung rein anklingen, als eine objective Identificirung der unreinen Verhältnisse mit dem reinen, und demnach als eine Selbstläuterung zu betrachten.

jene Zahl zukommt. Allein das Ohr nimmt von diesem nichts wahr, sondern hört entweder bloss c, oder neben diesem zugleich ein mittönendes $\bar{c}$, welches letztere aber durchaus nicht jenem spätern Beginnen, sondern einem ganz andern Umstande sein Entstehen verdankt, den wir oben S. 25 f. angaben. Fischer sagt S. 13., man müsse zur Erklärung dieser Thatsache annehmen, dass das Ohr die Fähigkeit habe, beide Töne abgesondert zu vernehmen, oder es könne auch sein, dass solche 2 Töne ihre Schwingungen auf denselben Anfangspunkt vereinigten. »Wahrscheinlich«, fährt er fort, »ist dieses der Fall, wenn beide Töne von zwei Stimmen oder solchen Instrumenten angegeben werden, wo der Ton durch die Thätigkeit des Spielers forthallt, denn in diesem Falle gehört begreiflich nur ein augenblickliches (auch dem feinsten Ohre unmerkliches) Innehalten dazu, um die Schwingungen auf gleichen Anfangspunkt zu bringen.« Die erstere Annahme scheint mir zur Erklärung unzulässig, und entweder die letztere, der er selbst den Vorzug zu geben scheint, die richtige, so dass auch hier eine objective Identificirung einträte, ähnlich wie in dem oben erwähnten Falle; oder man kann auch annehmen, dass das Ohr die durch das spätere Eintreten des einen Tones entstandene Verschiedenheit des Anfanges und Endes jeder einzelnen Schwingung des letztern, wenn sie auch in der Wirklichkeit durchweg fort bestände, doch nicht wahrnähme, demnach die von Seiten der Anfangs- und Endpunkte der einzelnen Schwingungen von einander verschiedenen Schwingungsreihen subjectiv identificirte. Von diesem Falle wird man nun leicht die Anwendung auf den von v. Baer erwähnten machen können. Denn dass beim Hervorbringen zweier um eine Octave aus einander liegenden Töne auch dann die nämlichen Töne vernommen werden, wenn der eine etwas später hervorgebracht wird, ist meines Erachtens ganz auf dieselbe Weise zu erklären.

§ 45.

Flageolet- und Combinationstöne, als die fast einzigen natürlich reinen Töne.

Bisher betrachteten wir die Intervalle stets nur nach ihrer natürlichen *Reinheit*, d. h. als solche, die den oben angegebenen durch die Natur ihnen zugetheilten Verhältnissen genau entsprechen. In dieser Reinheit aber vernehmen wir bei der gewöhnlichen Stimmung der Instrumente nur das Intervall der *Octave*; ausserdem aber erscheinen die natürlich reinen Tonintervalle nur in 2 Fällen:

a) bei den mit dem Grundtone von selbst *mitklingenden Flageolettönen* der Saiten, von denen S. 25 f. die Rede war; denn ihre Zahlenwerthe sind alle rational (1);

b) bei den sogenannten *Combinationstönen.* Bei diesen müssen wir deshalb hier noch etwas ausführlicher sein, weil aus ihnen zugleich der Beweis für die obige Erklärung des Con- und Dissonirens entnommen werden kann. v. Baer (2) leugnet oder bezweifelt wenigstens, dass wir das Zusammenfallen der Schwingungen oder Wellen, z. B. bei den obigen Reihen das Zusammenfallen jeder fünften Welle der Reihe D mit jeder vierten der Reihe A empfinden. Allein dann würde ein Combinationston, den doch die Erfahrung ausser allen Zweifel setzt, ganz unmöglich sein. Zur Erläuterung dieser Töne wird Folgendes hier genügen. Bringt man z. B. den Grundton und dessen grosse Terz auf einem Instrumente hervor, also 2 Töne, die sich wie 4 : 5 zu einander verhalten, so fällt, wie wir schon S. 664. bemerkt haben, jede fünfte Schwingung oder Welle der Terzreihe D mit jeder vierten der Reihe des Grundtons A zusammen. Durch dieses Zusammenfallen mit jener fünften erhält diese vierte mehr Intensität, tritt daher aus der Reihe der übrigen Pulse

---

1) *Fischer*: üb. d. akust. Verh. d. A. S. 5.

2) Anthrop. Bd. I. S. 281 f.

stärker hervor. So erscheint in dieser Reihe A durch jene Verstärkung, welche von dem regelmässig wiederkehrenden Zusammenfallen des vierten Pulses der einen Reihe mit dem fünften der andern bewirkt ward, eine durch diese intensiven Pulse ([3]) gebildete neue Reihe, die sich zu der ganzen Reihe A wie 1 : 4 verhält, wie folgende Punktreihe zeigt.

D Grosse Terz	● • • • • ● • • • • ● • • • • ● • • • • ● • • • • ●
A Grundton	● • • • ● • • • ● • • • ● • • • ● • • • ●
Reihe der intensiven Pulse	● ● ● ● ● ●

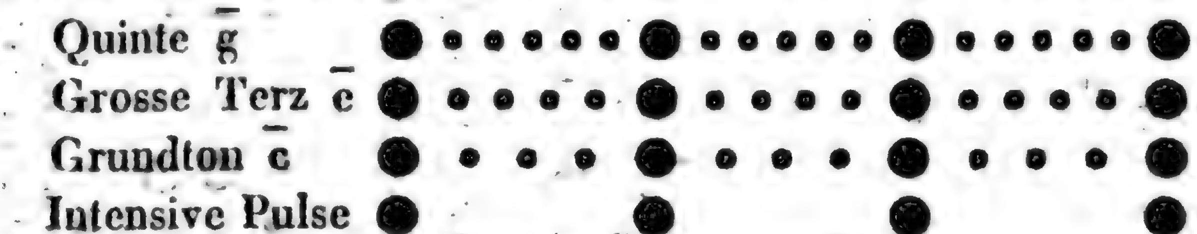
Diese letzte Reihe vernimmt das Ohr als einen besondern Ton, dessen Höhe in demselben Verhältniss zu dem Grundtone steht, wie die Zahl der Pulse jener Reihe zu der Zahl der Reihe A, also wie 1 : 4. Demnach muss der Ton dieser dritten Reihe genau um 2 Octaven tiefer sein als der Grundton, wie aus S. 632 ff. erhellet, folglich wenn z. B. der Grundton und seine grosse Terz $\bar{c}$ und $\bar{e}$ sind, so muss jener Ton C sein. Treffen 2 Wellenzüge das Ohr, deren einer den Grundton c, der andere dessen Quinte g hervorbringt, die sich also wie 2 : 3 verhalten, so ist der Ton der Reihe der intensiven Pulse, welche hier durch das Zusammenfallen jeder dritten Welle der Quintenreihe mit jeder zweiten der Reihe des Grundtons entstehen, nur um Eine Octave tiefer als der Grundton.

Quinte	● • • ● • • ● • • ● • • ● • • ● • • ● • • ● • • ● • • ● • • ● • • ●
Grundton	● • ● • ● • ● • ● • ● • ● • ● • ● • ● • ● • ●
Intensive Pulse	● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

3) *Fischer* nennt diese S. 19. 23. *Doppelschwingungen*, weil sie durch das Zusammenfallen zweier Schwingungen gebildet werden. Dieser Name möchte indess aus dem Grunde nicht zu empfehlen sein, weil man sonst mit demselben eine Hin- und Rückschwingung bezeichnet, im Gegensatz der einfachen, die nur eins von beiden ist, und nach welcher gewöhnlich gerechnet wird, vgl. *Chladni* S. 35. — *W. Weber*: Akust. S. 7 ff.

Die Zahl der intensiven Pulse verhält sich hier zu der des Grundtons wie 1 : 2. Ist daher der Grundton c, die Quinte g, so ist der Ton der dritten Reihe C.

Nicht aber bloss bei der Verbindung von 2 Tönen, sondern auch bei der von mehrern Tönen (Accorden), kann ein solcher Ton entstehen, und zwar nicht nur, wenn dieselben in rationalem Verhältnisse stehen, d. h. mit dem oben angegebenen reinen Schwingungsverhältnisse genau übereinstimmen, sondern auch wenn sie sich ihm nur annähern. Ist z. B. der angegebene Accord $\bar{c}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$, dessen Töne wie $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ oder wie 4 : 5 : 6 sich verhalten, so fällt jede vierte Schwingung des $\bar{c}$ mit jeder fünften des $\bar{e}$ und zugleich mit jeder sechsten des $\bar{g}$ zusammen, wie folgende Punktreihen verdeutlichen.



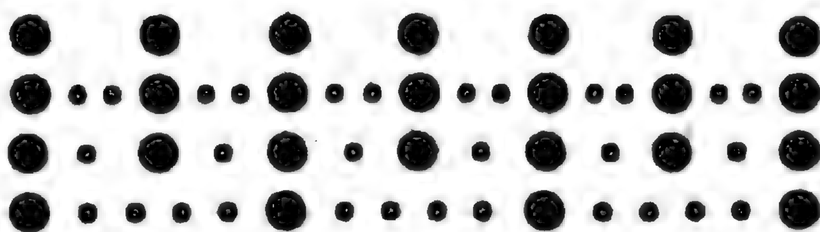
Die durch das Zusammenfallen der genannten Schwingungen entstehende Reihe intensiver Pulse verhält sich demnach zu dem Grundtone dieses Accordes gerade so wie in dem zuerst angeführten Beispiele der Verbindung eines Tones mit seiner grossen Terz, nämlich wie 1 : 4, der Combinationston ist folglich das um 2 Octaven tiefere grosse C [4]. Fischer [5] nennt diesen Ton, den das Ohr mit dem Accorde zugleich vernimmt, *angeschwungenen Ton eines Accordes* und die Dauer einer Schwingung dieses Tones, oder, was dasselbe sagt, die Zeit, nach welcher jedes Mal die Schwingungen sämmtlicher Intervalle des Accordes coincidiren, eine *Accordschwingung*. Aus den wichtigen Beobachtungen, die derselbe über diesen Ton ge-

---

4) A. a. O. S. 21 f. 5) Ebend. S. 21. Seinen weitern Erläuterungen über diesen Ton S. 25 ff. fügt er am Schlusse der Abhandlung auf Taf. III. eine Übersicht der Combinationstöne bei, die man bei den verschiedenen Accorden vernimmt.

macht hat, hebe ich hier nur die hervor, dass bei einem Accorde in den meisten Fällen mehr als Ein Combinationston sich bilden kann, welche in der Regel in der Octave verschieden sind (6). Das letzte Beispiel kann uns auch hier zur Erläuterung dienen. Die Töne $\bar{c}$ $\bar{e}$ $\bar{g}$ verhalten sich wie $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2}$ oder wie $4 : 5 : 6$. Ihre Gesammtheit bewirkt daher den schon bezeichneten Combinationston C; eben diesen bewirkt auch, wie oben gleichfalls gezeigt ist, die blosse Verbindung von $\bar{c}$ $\bar{e}$, da sich diese wie $4 : 5$ verhalten (7). Die Verbindung von $\bar{c}$ $\bar{g}$ aber bewirkt, dem Obigen zufolge, für sich den nur um Eine Octave tiefern Combinationston c, da sie in dem Verhältniss von $2 : 3$ stehen. Demnach kann sich sowohl C als c bei jenem Accorde bilden und letzteres wird vorwalten können, besonders wenn der Accord nach der gleichschwebenden Temperatur angegeben wird (8). Auch hier fügen wir zur Verdeutlichung Punktreihen bei, die des Grundtons zur leichtern Vergleichung mit den beiden andern in die Mitte stellend.

Intensive Pulse der Verbindung des Grundtones mit seiner Quinte
β) Quinte
α) Grundton
γ) grosse Terz



Intensive Pulse des ganzen Accordes und auch der Verbindung des Grundtones mit seiner gross. Terz



---

6) A. a. O. S. 32.

7) Fälschlich behauptet er, indem er eben diesen Accord zum Beispiele wählt, dass auch $\bar{c}$ $\bar{g}$ allein den Combinationston C hören lasse. Denn

Es fällt demnach jede dritte Schwingung der Reihe β. mit jeder zweiten in der Reihe α., und zugleich jede sechste der erstern und jede vierte der letztern mit jeder fünften der Reihe γ. zusammen. Die Reihe der intensiven Pulse der Reihen α. β. verhält sich daher zu der des Grundtons wie 1 : 2; die Reihe der intensiven Pulse oder Coincidenzen des ganzen Accordes und zugleich die der Reihen α. γ. insbesondere, verhält sich zu der des Grundtons wie 1 : 4. Folglich hört man bei der erstern einen Ton, der um 1 Octave, bei der letztern einen, der um 2 Octaven tiefer ist als der Grundton. Ist dieser $\bar{c}$, so ist der erstere Combinationston c, der letztere C.

Ein solcher Ton aber wird keineswegs bei jeder Verbindung von Tönen vernommen; denn seine Vernehmbarkeit hängt von dreierlei Umständen (9) ab:

1) von dem *gegenseitigen Verhältnisse der Schwingungen der gleichzeitig erklingenden Töne.* Dieses darf nicht von der Art sein, dass die Schwingungen beider nur selten zusammenfallen, weil dann die zusammenfallenden Schwingungen nicht als Ton, sondern als einzelne abgebrochene Stösse vernommen werden (10), indem dieselben zu weit aus einander liegen, als dass die zu einem Tone wesentliche Stetigkeit (s. S. 7. 544 f.) in der Empfindung dieser intensiven Pulse entstehen könnte, z. B. ein Zusammenklingen von C und Dis kann nie einen Combinationston erzeugen, weil nur

---

da sich diese Töne wie $1 : \frac{6}{5}$, also wie 5 : 6 verhalten, so fällt nur jede fünfte Schwingung des $\bar{e}$ mit jeder sechsten des $\bar{g}$ zusammen, und die so entstehende Reihe intensiver Pulse verhält sich zu der des Grundtons wie 1 : 5, folglich hört man bei dieser Reihe nicht den Ton C, sondern den um eine grosse Terz tiefern Ton As. 8) Dieses kommt daher, dass bei unserer gleichschwebenden Temperatur die Quinte ihrem reinen Verhältnisse näher steht, als die grosse Terz dem ihrigen (s. unten), weshalb bei jener die bezeichneten Schwingungen mit denen des Grundtons genauer zusammenfallen, als die der grossen Terz mit denen des Grundtons. Vgl. *Fischer* a. a. O. S. 32.

9) *Fischer* gibt a. a. O. S. 14. eben diese als Bedingungen der Wahrnehmbarkeit der Schwebungen an, vgl. S. 17 f. 10) *Chladni* S. 208.

jede 75ste Schwingung von Dis mit jeder 64sten von C zusammenfällt.

2) von der *absoluten Schwingungszahl (Höhe) jener Töne.* Denn wenn auch die zusammenklingenden Töne in dem Verhältnisse zu einander stehen, dass ein Combinationston von dieser Seite möglich ist, so kommt es doch auch darauf an, ob so viele Schwingungen in 1 Secunde zusammenfallen, wie überhaupt zur Vernehmbarkeit eines Tones nöthig sind. Der obigen Angabe (S. 6.) zufolge werden bei unsern gebräuchlichen Mitteln wenigstens 30—32 Schwingungen in 1 Secunde dazu erfordert. Ob dieser Fall, der Zusammenklang mehrerer Töne, eine Ausnahme mache, ob daher, wie Fischer S. 15. annimmt, schon bei einer geringern Anzahl von Schwingungen, namentlich schon bei 16 in 1 Secunde, ein stetiger Ton entstehen könne, sofern nur die einzelnen Schwingungen die gehörige Intensität erhalten (vgl. Savart's Ansicht S. 7 f. vgl. S. 541 ff.), das überlasse ich Andern zur Prüfung. Gesetzt nun, es würden Contra-C und dessen kleine Terz Es zugleich hervorgebracht, wovon das erstere 66, das andere $79\frac{1}{5}$ Schwingungen in 1 Secunde macht, so würden, da sie sich wie 5 : 6 verhalten, durch das Zusammenfallen jeder fünften Schwingung des C mit jeder sechsten von Es 13 intensive Pulse in 1 Secunde entstehen, mithin zu wenig, als dass wir sie als Ton empfinden könnten.

3) von der *absoluten Zeitdauer jener Töne.* Dieses beruht auf demselben Grunde, wie der vorige Punkt. Denn wenn auch bei 2 zusammenklingenden Tönen das gegenseitige Verhältniss sowohl wie die Zahl der Schwingungen an sich vollkommen zur Hervorbringung eines Combinationstones geeignet sind, so kommt es doch noch darauf an, ob beide Töne so lange dauern,

dass die zur Vernehmbarkeit eines solchen Tones nöthige Zahl intensiver Pulse entsteht. Es seien z. B. die beiden Töne Contra-C mit seiner Quinte G, deren ersteres 66, letzteres 99 Schwingungen in 1 Secunde macht, so ist sowohl ihr gegenseitiges Verhältniss als auch ihre Schwingungszahl zur Erzeugung eines Combinationstones ganz geeignet; denn da bei diesem Verhältnisse jede zweite Schwingung des C mit jeder dritten des G zusammenfällt, so entstehen in 1 Secunde 33 intensive Pulse, folglich eine zur Vernehmung eines Tones hinreichende Anzahl in 1 Secunde. Dauern nun aber beide Töne oder einer derselben nur $\frac{1}{3}$ Secunde, so beträgt auch die Zahl der intensiven Pulse nur das Drittel, 11, die, wie bekannt, zur Erzeugung eines Tones nicht zureichen. Demnach kann ein Combinationston nur dann eintreten, wenn alle diese Bedingungen zugleich erfüllt sind.

Aus dem Bisherigen erkennt Jeder zugleich meine Ansicht über das noch dem Streit unterliegende Wesen dieses Tones, ob er nämlich ein *objectiver* oder ein *subjectiver* sei ([11]), d. h. ob er seinen Ursprung unmittelbar einem schwingenden Körper verdanke, oder ob es nur dem Ohre so scheine, als klinge noch ein solcher Ton mit, indem es die intensiven Pulse wie eine selbstständige Schwingungsreihe empfindet. Ich stimme mit Chladni ([12]), Baumgartner ([13]) und Fischer ([14]) für das Letztere. Man pflegt diesen subjectiven Ton *Combinationston* zu nennen, weil er aus der Combination zweier Töne entsteht. Von Vielen ist er aus gleichem Grunde *Compositionston* genannt ([15]). Auch hat man ihn *Tartinischen Ton* genannt,

---

11) *Fischer* a. a. O. S. 17. Ausführlicheres hierüber s. in *Gilbert's* Annal. der Physik Bd. XXI. S. 265 ff. 12) S. 207 f. 13) S. 271. 14) Obgleich er den erwähnten Streit zu vermeiden sucht (vgl. a. a. O. S. 21.), so spricht er sich doch S. 16. 32. deutlich genug für die Subjectivität dieses Tones aus. 15) *Fischer* a. a. O. S. 17.

weil man früher den berühmten Violinisten **Tartini** für den Entdecker desselben hielt, obwohl schon 1 Jahr früher **Romieu**, und 10 Jahre früher **G. A. Sorge** ihn bekannt gemacht haben ([16]). — Schon S. 28 f. bei den mitklingenden Flageolettönen erwähnten wir diesen Ton als einen von ihnen ganz verschiedenen. Um aber das Verhältniss beider genau zu erkennen, wollen wir noch eine kurze Vergleichung derselben hier anstellen.

1) Beide kommen überein

a) darin, dass sie nur leise mitklingen. Auch sind

b) auf beide von mehrern musikalischen Schriftstellern Systeme gebaut; denn z. B. **Rameau** hat sein System der Harmonie auf die mitklingenden Flageolettöne ([17]), **Tartini** das seinige auf den mitklingenden Combinationston gebaut ([18]). Ferner sind

c) durch beide sehr wichtige Änderungen im Orgelbau veranlasst, nämlich durch die mitklingenden Flageolettöne, wie schon oben gesagt ist, die Quinten- und Terzen- und Mixtur-Register. Durch den mitklingenden Combinationston aber ist der bekannte Umgestalter des Orgelbaues, der Abt **Vogler**, veranlasst worden, zur Hervorbringung eines tiefen Tones statt einer grossen Orgelpfeife 2 kleinere anzuwenden, deren Töne in einem solchen Verhältnisse zu einander stehen, dass der verlangte tiefe

---

16) *Tartini* machte dieses Mitklingen eines tiefern Tones bekannt in seinem Trattato di Musica secondo la vera scienza dell' Armonia. Padova, 1754, nachdem *Romieu* schon 1753 der Akademie der Wissenschaften zu Montpellier davon Nachricht gegeben hatte (s. *Chladni* S. 208.). In Deutschland aber wird dieses schon 10 Jahre früher von *Georg Andreas Sorge* in seiner Anweisung zur Stimmung der Orgelwerke und des Claviers (Hamburg, 1744) S. 40. erwähnt. Auch schon in *Sorge*'s Vorgemach der musikalischen Composition (1740) Cap. 5. § 4. u. 5. ist die Rede davon (*s. Chladni*: N. Beytr. S. 73 f.). *Tartini* selbst nennt diesen Ton *terzo suono*, weil er bei einer Verbindung zweier Töne als dritter erscheint, s. *Fischer* a. a. O. S. 32. Anm., von dem ich hier noch die Bemerkung entlehne, dass *Tartini* in s. Werke: Trattato di Musica secondo la vera scienza dell' Armonia, den Combinationston allezeit eine Octave höher angibt, als er wirklich klingt. 17) *Chladni* S. 3. 206. 18) Ebend. S. 209.

Ton als mitklingender Combinationston erscheint ([19]). Die Praxis hat indess dieses Orgelsimplificationssystem, wie er es nannte, schlecht bewährt ([20]).

2) Verschieden dagegen sind beide

a) darin, dass die mitklingenden Flageolettöne auch schon bei dem Schwingen Eines klingenden, seinen Grundton gebenden Körpers gehört werden, der mitklingende Combinationston aber nur, wenn 2 oder mehrere Körper zugleich klingen, bei deren Tönen die S. 674 ff. angegebenen Umstände zur Erzeugung eines Combinationstones sich vereinigen.

b) Verschieden sind sie ferner, ja einander gerade entgegengesetzt, dadurch, dass die mitklingenden Flageolettöne stets höher sind als der Grundton, indem ihr tiefster die nächst höhere Octave desselben bildet, und dass, wenn der Grundton = 1 ist, sie selbst, bei den Saiten wenigstens, wie 2, 3, 4, 5 u. s. w. sich zu demselben verhalten; dass dagegen der Combinationston stets tiefer ist als der Grundton der beiden angegebenen Töne, indem das kleinste der Intervalle, welche zwischen dem Combinationstone und dem Grundtone Statt finden können, eine Octave ist, und dass der Combinationston stets = 1, die beiden Töne aber, durch deren Zusammenklingen er entsteht, obgleich kleinste ganze, doch höhere Zahlen stets sind als 1 (weshalb gewissermassen der Combinationston als Grundton, die beiden andern aber als seine höhern Intervalle betrachtet werden könnten). So ist bei dem S. 671. aufgestellten ersten Beispiele der Combinationston = 1, der Grundton = 4 und der damit verbundene der grossen Terz = 5; bei dem zweiten Beispiele S. 671.

---

19) *Chladni* S. 209. 20) *Chladni*: N. Beytr. S. 74. — *Fischer* a. a. O. S. 31.

ist der Combinationston gleichfalls, wie immer, = 1, der Grundton = 2 und der mit diesem verbundene der Quinte = 3.

c) Entgegengesetzter Natur sind beide endlich auch in sofern, als die mitklingenden Flageolettöne *objective* Töne sind, d. h. solche, deren entsprechende Schwingungen wirklich an den klingenden Körpern selbst Statt finden, der mitklingende Combinationston aber nur ein *subjectiver* ist, dessen entsprechende Schwingungen nicht wirklich an einem der klingenden Körper vorhanden sind, sondern nur in dem Ohre aus den intensiven Pulsen sich bilden, die durch das regelmässig wiederkehrende Zusammenanschlagen gewisser Wellen jener beiden klingenden Körper bewirkt werden.

Anmerkung. Für diejenigen, welche sich über *Schwebungen* und *Combinationstöne* noch ausführlicher unterrichten wollen, nenne ich hier noch folgende Stellen, wo sie entweder ausführlichere Belehrung, oder einzelne Andeutungen darüber finden werden: 1) über *Schwebungen* vgl. W. Weber: Akust. S. 12 ff. — Poggendorff's Annal. Bd. 14. (90.) S. 399. Bd. 16. (92.) S. 463. Bd. 20. (96.) S. 188 ff. Bd. 26. (102.) S. 256. Bd. 29. (105.) S. 391 ff. — Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 395. Bd. 23. (53.) S. 333. und Bd. 21. (51.) S. 313. (wo gezeigt wird, wie die Momente der Schwebungen mittelst einer gespannten Membran versichtbart werden können). — Fechner: Repert. I. S. 69 f. 260 f. 263. — Fischer: Versuche üb. die Schwingungen gespannter Saiten, in den Abh. d. Berlin. Akad. d. W. A. d. J. 1822. und 1823. Phys. Klasse S. 202 ff. 213. — Baumgartner: Supplbd. S. 372 f. — Cäcilia Bd. XI. S. 191. — Naue A. Orgel, in d. Hall. Encycl. Sect. III. Th. V. S. 169.; 2) über *Combinationstöne* s. Gilbert's Annal. Bd. 21. S. 272 ff. Bd. 22. S. 344 f. 348 f. — Poggendorff's Annal. Bd. 14. (90.) S. 399. Bd. 15. (91.) S. 216 ff. Bd. 20. (96.) S. 177. Bd. 24. (100.) S. 438 ff. Bd. 28. (104.) S. 9 f. Bd. 32. (108.) S. 333 ff. 492 ff. — Baumgartner S. 271. — Schweigger's und Schweigger-Seidel's Jahrb. Bd. 18. (48.) S. 389. — Biot II. S. 18.

28 ff. 61 f. — Fischer: üb. die Grundlehren der Akust., in den Abhandl. d. Berl. Akad. d. W. Aus d. J. 1824. Phys. Klasse S. 115 f. — Fechner: Repert. I. S. 257 f. — Cäcilia Bd. XII. S. 199. — Pellisov: Berichtig. eines Fundamentalsatzes der Akust. S. 20 f., über Schall, Ton, Knall u. s. w. S. 16 f. Vgl. auch Chladni: Beytr. z. prakt. Akust. S. 65.

§ 46.

Temperirte Töne.

Jene mitklingenden Flageolet- und Combinationstöne sind, nebst dem Intervall der Octave, die einzigen, welche mit den oben angegebenen Schwingungsverhältnissen übereinstimmen und demnach stets vollkommen rein sind. In der praktischen Musik ist diese vollkommene Reinheit der Intervalle unerreichbar ([1]). Man darf daher ein musikalisches Instrument, das bleibende Stimmung hat, nicht ganz genau nach jenen Schwingungsverhältnissen stimmen, sondern muss einige Töne höher, andere tiefer stimmen, um brauchbare Intervalle für alle Töne zu haben. Man nennt dieses *temperiren, Temperatur*, und das Quantum, welches einem Tone abgenommen oder zugegeben wird, also überhaupt die Abweichung eines Intervalles von den oben angegebenen Verhältnisszahlen, eine *Schwebung* ([2]). Hierbei verfährt man aber auf verschiedene Weise. Die Einen nämlich suchen wenigstens einigen Tönen die natürlich reinen Intervalle zu verschaffen. Nothwendig müssen bei einem solchen Verfahren die Abweichungen für andere Töne desto grösser und störender werden. Deshalb widerstrebt eine solche Temperatur, die man die *ungleichschwebende* nennt,

---

1) Den Beweis s. bei *Chladni* S. 38 ff. und *Opelt* S. 35 f. 40. 2) *Chladni* S. 44. — v. *Baer* I. S. 286. — Das W. *Schwebung* hat hier eine von der S. 661. Note 2. angegebenen wenigstens scheinbar verschiedene Bedeutung, die sich aber leicht mit jener vereinen lässt. Dort bedeutete es das in gewissen Momenten eintretende Zusammenfallen zweier Schwingungen von verschiedener Schwingungsdauer. Hier ist es im Grunde das Nämliche. Denn da die Schwingungszeit eines temperirten Tones von der eines natürlich reinen etwas, wenn auch noch so wenig, abweicht, so würden, wenigstens der Rechnung zufolge, nur gewisse Schwingungen beider Töne zusammenfallen, wenn beide zugleich angegeben würden, die übrigen aber nicht, mithin das Nämliche wie dort entstehen.

dem Gefühle. Es ziehen ihr daher Andere, und zwar wohl die Meisten, mit Recht die sogenannte *gleichschwebende*, oder, wie sie, nach Scheibler, richtiger genannt wird, *gleichmässige Temperatur* ([3]) vor, bei der man, von der natürlichen Reinheit aller Intervalle, mit Ausnahme der Octave, abweichend, die kleinsten Intervalle, welche die Musik in der Praxis (als Kunst) unterscheidet, alle unter einander gleich macht, so dass jeder Ton zum nächstfolgenden immer dasselbe Verhältniss hat ([4]). An eine solche gleichstufige Tonleiter ergeht stets die Forderung, die Quinte, Quarte und grosse Terz in möglichster Reinheit zu geben ([5]). Diese wird von den 7 Eintheilungsarten der Octave, welche Opelt ([6]) anführt und in Hinsicht jener Intervalle vergleicht, nämlich in 50, 43, 34, 31, 22, 19, 12 gleiche Stufen, in verschiedenem Grade erfüllt. Da aber zu jener Forderung noch die hinzukommt, dass das Tonsystem praktisch ausführbar sein muss, so sind einzig nur die beiden letzten Temperaturen von 19 oder 12 gleichen Stufen zulässig, weil die Menge derselben nicht, wie bei den andern, zu gross ist. Man hat sich bis jetzt mit der letztern dieser beiden begnügt, und allerdings ist sie auch gerade diejenige, welche die empfindliche Quinte und Quarte, die nächst der Octave die wenigste Abweichung vertragen (s. weiter unten), so nahe rein gibt, dass die Differenz für das Gehör fast völlig verschwindet. Für die Quinte beträgt nämlich die Abweichung des Logarithmus dieser 12-stufigen Tonleiter von dem des natürlich reinen Verhältnis-

---

3) *Chladni* S. 38 ff. 52 ff. und Cäcilia Bd. V. S. 279 ff. — *v. Baer*: Anthropol. I. S. 282. 286 f. — *Baumgartner* S. 243. — *Fischer*: üb. d. akust. Verh. d. A. S. 1 ff. — *Opelt* S. 12 f. 30 ff. 40 f. — *G. Weber* dagegen, welcher in s. Theorie d. T. II. S. 88 ff. über Temperatur redet, lässt S. 92. den Streit zwischen beiden Arten unentschieden. Vgl. auch *Biot* II. S. 32 ff. 61 f. — *Scheibler* (üb. mathemat. Stimmung u. s. w. S. 14.) erklärt die Bezeichnung »*gleichschwebende Temperatur*« für unrichtig, da a, $\bar{d}$ schon anders schweben wie b, $\bar{es}$, und Gleichschwebung fast nicht einmal bei dieser Temperatur vorkommen könne. Man müsse sie vielmehr »*gleichmässige Temperatur*« nennen, indem alle Intervalle *ein gleiches Maass* haben. 4) *Chladni* S. 45 ff. — *v. Baer* I. S. 286. — *Opelt* S. 36. — *Fischer*: üb. d. akust. Verh. d. A. S. 1. 5) Vgl. *Opelt* S. 37. 6) S. 38 f.

ses — $1\frac{2}{3}$ (d. h. um so viel ist jener zu klein), bei der grossen Terz dagegen beträgt die Verschiedenheit beider Logarithmen + $11\frac{1}{3}$ (d. h. um so viel ist der Log. dieses Intervalls in jener Tonleiter zu gross ([7])). Wie man die 12 gleichen Stufen dieser Tonleiter berechne, zeigt Chladni. Wir begnügen uns hier, die Resultate dieser Rechnung von ihm und v. Baer ([8]) zu entlehnen und dabei zugleich auf die von dem Letztern angewandte Weise zu zeigen, welche von den früher vollständig aufgezählten Intervallen bei dieser 12-stufigen gleichschwebenden Tonleiter in Eines zusammenfallen.

Intervalle des Grundtons.		Werth der Intervalle ohne Temperatur		Werth der Intervalle nach der 12-stufigen gleichschwebenden Temperatur		
		a) nach der *Zahl* der Schwingungen.	b) nach der *Zeit* der Schwingungen u. nach d. *Länge* d. Saiten.		a) nach der *Zahl* der Schwingungen.	b) nach der *Zeit* der Schwingungen u. nach d. *Länge* d. Saiten.
Grundton, Prime ...	C : C	1,00000	1,00000	....	1,00000	1,00000
Übermässige Prime .	C : Cis ...	1,04166	0,96000			
Kleine Secunde	D : Es	1,06666	0,93750	I	1,05946	0,94387
	C : Des ..	1,08000	0,92592			
Grosse Secunde	D : E	1,11111	0,90000			
	C : D	1,12500	0,88888	II	1,12246	0,89090
Verminderte Terz ..	C : Eses od. Cis : Es .	1,15200	0,86805			

7) *Opelt* S. 39. Wie sich dieselbe zur 50-, 43-, 34-, 31-, 22- und 19-stufigen Temperatur bei der grossen Terz und Quinte verhalte, s. ebend.

8) Anthropol. I. S. 282. Mit den folgenden Zahlen der temperirten Intervalle stimmen auch die von *Fischer* a. a. O. Taf. I. überein, ausser dass in 3 derselben die fünfte, in einer die vierte und fünfte Decimalstelle um 1 von jenen abweichen. Eben so finden sich auch mehrere kleine Verschiedenheiten bei Vergleichung mit der Tabelle *Scheibler*'s (über mathemat. Stimmung, Temperaturen u. s. w. S. 6.). Ich führe deshalb diese, jedoch der Kürze wegen, nur die abweichenden hier an, und bezeichne die Zahlen der Tabelle, von welchen sie abweichen, mit den dort dabei stehenden römischen Zahlen: I. 1,05945. III. 1,18902. V. 1,33483. VII. 1,49830. X. 1,78179. XI. 1,88774.

Intervalle des Grundtons.		Werth der Intervalle ohne Temperatur		Werth der Intervalle nach der 12-stufigen gleichschwebenden Temperatur		
		a) nach der *Zahl* der Schwingungen.	b) nach der *Zeit* der Schwingungen u. nach d. *Länge* d. Saiten.		a) nach der *Zahl* der Schwingungen.	b) nach der *Zeit* der Schwingungen u. nach d. *Länge* d. Saiten.
Übermässige Secunde	D : Eïs ..	1,15740	0,86400			
	C : Dis ..	1,17187	0,85333	III	1,18921	0,84090
Kleine Terz.........	C : Es...	1,20000	0,83333			
Grosse Terz.........	C : E ...	1,25000	0,80000			
Verminderte Quarte .	C : Fes..	1,28000	0,78125	IV	1,25992	0,79370
Übermässige Terz ...	C : Eïs ..	1,30208	0,76800			
(Vollkomm.) Quarte .	C : F ...	1,33333	0,75000	V	1,33484	0,74915
Übermässige Quarte .	C : Fis ..	1,38889	0,72000			
Verminderte (od. kleine) Quinte	C : Ges .	1,44000	0,69444	VI	1,41421	0,70710
(Vollkommene, oder grosse, oder reine) Quinte...........	C : G ...	1,50000	0,66666	VII	1,49831	0,66742
Übermässige Quinte .	C : Gis ..	1,56250	0,64000			
Kleine Sexte........	C : As...	1,60000	0,62500	VIII	1,58740	0,62996
Grosse Sexte........	C : A ...	1,66667	0,60000			
Verminderte Septime	D : ces ..	1,70666	0,58593	IX	1,68179	0,59461
	C : B♭ od. Cis : B	1,72800	0,57870			
Übermässige Sexte ..	C : Aïs ..	1,73611	0,57600			
Kleine Septime......	D : c	1,77777	0,56250	X	1,78180	0,56123
	C : B ...	1,80000	0,55555			
Grosse Septime......	C : H ...	1,87500	0,53333	XI	1,88775	0,52973
Verminderte Octave .	C : ces ..	1,92000	0,52083			
Übermässige Septime	C : His..	1,95313	0,51200	XII	2,00000	0,50000
(Vollkomm.) Octave .	C : c	2,00000	0,50000			

Anmerkung 1. Die Stimmung eines musikalischen Instrumentes nach dieser gleichschwebenden Temperatur kann mit Sicherheit nie bloss mit Hülfe des Gehörs, sondern nur mittelst 12 nach dieser gleichschwebenden Temperatur gestimmter Stimmgabeln

auf die von **Scheibler** angegebene Weise erreicht werden. S. dessen hierüber abgefasste wichtige Schrift: »Über mathematische Stimmung, Temperaturen und Orgelstimmung nach Vibrations-Differenzen oder Stössen.« Crefeld, 1837. (Leider ist diese Schrift, so viel ich weiss, nicht in den Buchhandel gekommen; ich selbst verdanke mein Exemplar der Güte des Herrn Verfassers.) und **Loehr**: über die **Scheibler**'sche Erfindung überhaupt und dessen Pianoforte- und Orgel-Stimmung insbesondere (Crefeld, Schüller. 1836.). Vgl. **Biot** II. S. 61. Wie aber dergleichen Stimmgabeln und Stäbe überhaupt gestimmt werden, ersieht man aus **Chladni**: Beytr. z. prakt. Akust. S. 55 f. — Vgl. auch: **Kraushaar**: Construction der gleichschwebenden Temperatur ohne **Scheibler**'sche Stimmgabeln auf musikalischen Instrumenten. Cassel, Krieger'sche Buchh. (Th. Fischer). 1838.

Anmerkung 2. Es war in dem Obigen von der Empfindung des Ohres bei der Abweichung des Tones von der mathematischen Reinheit die Rede. Ich verweise hier auf eine Stelle, wo man über die Feinheit des Ohres wichtige Bemerkungen von W. **Weber** findet: in **Poggendorff**'s Annal. Bd. 14. (90.) S. 398 f., und Cäcilia Bd. XI. S. 189 f. — Vgl. **Fechner**: Repert. I. S. 341. Über den Eindruck mathematisch reiner Töne auf das Ohr vgl. **Scheibler**: üb. mathem. Stimmung u. s. w. S. 24.

Ungeachtet dieser Verschmelzung vieler Intervalle bestehen doch auch in dieser 12-stufigen Tonleiter alle jene Intervalle, freilich aber nur dem Namen nach, bloss in der Idee fort; denn in der Wirklichkeit beschränkt sie sich, wie man aus dieser Tabelle sieht, auf folgende Töne:

C. Des (od. Cis). D. Es (od. Dis). E. F. Ges (od. Fis). G. As (od. Gis). A. B (od. Aïs). H. c.

Das kleinste Intervall dieser Tonleiter, das bei der Gleichheit ihrer Stufen zwischen jedem Tone derselben und dem nächstfolgenden oder dem nächstvorhergehenden Statt findet, ist ein halber Ton, der aber grösser als $\frac{25}{24}$ (Verhältniss eines kleinen halben Tones) und kleiner als $\frac{16}{15}$ (Verhältniss eines grossen halben Tones, s. S. 640.)

ist (9). Nimmt man den Raum oder das Intervall der Octave zu 1000 gleichen Theilen an, so beträgt jener halbe Ton, mithin überhaupt die Weite jeder einzelnen Stufe unserer Tonleiter $83\frac{1}{3}$ solcher Theile (10). Das nächst grössere Intervall ist der ganze Ton, dessen Weite das Doppelte des halben, also 167 ist. Demnach finden sich statt der S. 640. angegebenen 5 kleinern Intervalle hier nur 2: ganze und halbe Töne, ohne weitere Unterabtheilung wie dort.

Dadurch, dass sich unser Ohr diese gleichschwebende Temperatur gefallen lässt, wird v. Baer zu folgender wichtigen Frage veranlasst, die wir schon im Obigen berücksichtigten und zu beantworten suchten. »Wir dürfen nun fragen«, sagt er (11), »ob diese gleichschwebende Temperatur so viel Beifall finden könnte, ob sie selbst dem Ohr der Virtuosen genügen könnte, wenn sie so bedeutend von dem abwiche, was nach der Annahme, dass die einfachen Schwingungsverhältnisse dem Bedürfnisse unsers Ohres ursprünglich entsprächen, von diesem gefordert würde. Entweder sind also jene durch die einfachen Schwingungsverhältnisse gefundenen Töne gar nicht diejenigen, die unser musikalisches Ohr verlangt, oder man muss gestehen, dass dieses sich eine nicht unbeträchtliche Abweichung recht wohl gefallen lässt; eine Abweichung, bei der die Einfachheit der Schwingungsverhältnisse ganz verloren geht.« In der hierauf folgenden Erörterung dieses wichtigen Gegenstandes (12) entscheidet er sich für das Erstere, während die Übrigen, so viel ich weiss, annehmen, dass die Forderungen des Gehöres mit jenen durch die Natur den Tönen vorgeschriebenen Verhältnissen ganz übereinstimmen, dass es nur, weil die eiserne Nothwendigkeit eines praktisch brauchbaren Tonsystems es so erheischt, sich in die Ab-

9) *Chladni* S. 40. 10) *Opelt* S. 39. vgl. S. 37. 11) Anthropol. I. S. 287. 12) Ebend. S. 287—290.

weichungen von der natürlichen Reinheit füge, da überhaupt der blosse Sinn stets hinter der mathematischen Genauigkeit der Verstandesschlüsse zurückbleibe, dass jedoch selbst die sonst so mächtige Gewohnheit oder das stete Hören temperirter Intervalle das natürliche Gefühl für die Vollkommenheit des Consonirens nicht zu tilgen vermöge. Dieses Gefühl thut sich um so stärker kund, je einfacher das reine Schwingungsverhältniss ist, je leichter es somit dem Gefühle ist, dasselbe zu überblicken ([13]). Daher ist bei der Prime oder dem Einklange ($=\frac{1}{1}$) und der Octave ($=\frac{2}{1}$) als den von Seiten jenes Verhältnisses einfachsten Intervallen eine Abweichung von der Reinheit gar nicht zulässig. Nächst ihnen verträgt die Quinte und Quarte die wenigste Abweichung. Die Abweichungen bei andern Intervallen müssen aber in demselben Grade immer weniger fühlbar werden, in welchem die Einfachheit ihres Schwingungsverhältnisses abnimmt. Es müssen also die unvollkommenen Consonanzen mehr Abweichung, als die vollkommenen, die Dissonanzen mehr als die unvollkommenen Consonanzen vertragen, wie die Erfahrung bestätigt ([14]). — Dass durch diese in der praktischen Musik nothwendige Temperatur die oben aufgestellte Hypothese von der Ursache des Con- und Dissonirens nicht, wie v. Baer S. 285. meint, erschüttert werde, geht daraus mit Bestimmtheit hervor, dass ja, trotz dieser freilich nur in geringem Grade zulässigen Abweichungen von der Reinheit (vgl. Chladni S. 208.), auch bei unsern temperirten consonirenden Tönen der Combinationston erfolgt, welches nur dadurch erklärbar wird, dass auch bei unserer gleichschwebenden Tem-

---

13) Vgl. *Chladni* S. 45.

14) *Opelt* S. 32. vgl. S. 30. — *Fischer* ordnet S. 19. die Intervalle, jenachdem sie weniger oder mehr Abweichung von dem reinen Verhältniss vertragen, auf folgende Weise: a) die Octave, welche die geringste Abweichung vertrage, b) die Quinte, c) die Quarte, d) die grosse Terz und kleine Septime, e) der ganze Ton und die grosse Septime, f) der halbe Ton, welcher die bedeutendsten Abweichungen vertrage. — Warum aber diese Abweichungen und überhaupt Unreinheit bei höhern Tönen mehr empfunden werde, als bei tiefern, zeigt *Fischer* S. 14.

peratur auf die zuvor angegebene Weise in den Wellenzügen zweier Töne der Art gewisse Wellen, wenn auch nicht ganz so genau wie bei vollkommen reinen Schwingungsverhältnissen zugleich an unser Ohr anschlagen, dennoch so nahe zusammentreffen, dass es die kleine Abweichung nicht wahrnimmt, und das Nämliche wie bei dem vollkommenen Zusammentreffen empfindet.

§ 47.

Verschiedene Arten der Fortschreitungen und Tonleitern.

Eine *Tonleiter* ist nach Chladni ([1]) die sangbarste Reihe von Tönen, durch welche man von einem Grundtone zu seiner Octave fortschreiten kann, ohne das Gefühl des Grundtones zu verlieren; nach G. Weber ([2]) ist sie die Gesammtheit der Bestandtheile der einer Tonart eigenthümlichen Harmonien. Schreitet man von dem Grundtone zu seiner Octave so, wie in der Reihe C D E F G A H c geschieht, durch ganze und (grosse) halbe Töne fort, so nennt man dieses eine *diatonische Tonleiter* und eben so die Fortschreitung von einem dieser Töne zu einem andern durch das Intervall eines ganzen oder (grossen) halben Tones von ihm entfernten, z. B. von D zu E, von E zu F, eine *diatonische Fortschreitung* ([3]). Schreitet man dagegen von einem Haupttone zu dem Tone, der durch dessen Erhöhung oder Erniedrigung entsteht, oder umgekehrt, z. B. von D zu Dis oder zu Des fort, so heisst diese Fortschreitung eine *chromatische* ([4]). *Enharmonisch* aber

---

1) Akust. S. 14. 2) Theorie d. T. III. S. 80. 3) v. *Baer*: Anthropol. I. S. 279 ff. — *Fink*: musik. Gramm. S. 121 ff. 4) Eben so nennt man auch die Erhöhung oder Erniedrigung eines Tones durch ein sogenanntes Vorsetzungszeichen (ein Kreuz oder Be) eine *chromatische Erhöhung*, oder *chromatische Erniedrigung*, oder überhaupt *chromatische Versetzung*, und auch die Vorsetzungszeichen *chromatische Zeichen*, und stehen sie gleich am Anfange eines Stückes, *chromatische Vorzeichnung*, so auch die dadurch bezeichneten Töne *chromatische Töne*, und den Unterschied, das Intervall, um welches ein sogenannter natürlicher Ton durch eine (einfache) chromatische Versetzung erhöht oder erniedrigt wird, einen *chromatischen Tonunterschied*, ein *chromatisches Intervall*; s. *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 33 f.

nennt man die Fortschreitung von einem Tone, der durch Erhöhung entstanden ist, zu dem auf der nächsten Stufe, welcher durch Erniedrigung entstanden ist, oder umgekehrt, z. B. von Cis zu Des ([5]). Eben so redet man auch von einer *chromatischen* und einer *enharmonischen* Tonleiter ([6]), und versteht unter der erstern eine solche, welche chromatische, unter der letztern eine solche, die enharmonische Fortschreitungen enthält; ferner von einer *diatonisch-chromatischen* und einer *diatonisch-chromatisch-enharmonischen* ([7]), unter deren ersterer man eine solche versteht, welche sowohl diatonische als chromatische Fortschreitungen, unter der letztern aber die, welche ausser jenen auch enharmonische enthält, oder, wie Chladni ([8]) sie definirt, den ganzen Inbegriff von natürlichen, erhöhten und erniedrigten Tönen. G. Weber ([9]) verwirft nicht nur diese beiden letzten Benennungen, sondern auch die Namen: *chromatische Tonleiter*, *chromatisches Klanggeschlecht* und *enharmonische Tonleiter*, *enharmonisches Klanggeschlecht* ([10]). — Jedenfalls ist ungleich wichtiger die schon oben beiläufig erwähnte Unterscheidung einer *Dur-* und *Moll-Tonleiter*. Um den Unterschied beider deutlich zu machen, muss zuvor bemerkt werden, dass sich die Tonreihe vom Grundtone bis zur grossen Septime in 2 grosse Terzen und eine kleine zerlegen lässt ([11]), nämlich a) von dem Grundtone bis zur eigentlich sogenannten Terz, b) von dieser bis zur Quinte, und c) von der letztern bis zur grossen Septime. Schreiten nun

---

5) *Chladni* S. 19 f. 6) *Fink*: musikal. Gramm. S. 48 ff. 121 ff. 7) *Koch*: mus. Lex. S. 422. 863. 1557 f. 8) Akust. S. 21. 9) Theorie d. T. I. S. 35. III. S. 80 f. 10) Vgl. über alle diese Ausdrücke auch *Sulzer*: Theorie d. schönen Künste u. d. WW. Chromatisch I. S. 357 f., Diatonisch I. S. 419 f., Enharmonisch II. S. 55 ff. — *Koch*: mus. Lex. u. diesen WW. S. 328 f. 421 ff. 537 f., und Klanggeschlecht S. 849 ff., Tonleiter S. 1556 ff. 11) Dass die Summe dieser Intervalle dem Intervalle einer grossen Septime, deren Verhältnisszahl, dem Obigen zufolge, $\frac{15}{8}$ ist, genau gleichkommt, erkennt man durch die Multiplication der Verhältnisszahlen jener 3 Terzen; denn $\frac{5}{4} \times \frac{5}{4} \times \frac{6}{5} = \frac{150}{80} = \frac{15}{8}$.

die Töne vom Grundtone hinaufwärts so fort, dass die erste Terz eine grosse, die zweite eine kleine und die dritte wieder eine grosse ist, oder, mit andern Worten, dass die erste Terz der Verhältnisszahl $\frac{5}{4}$, die zweite der $\frac{6}{5}$ und die dritte wieder der ersten $\frac{5}{4}$ entspricht, wie z. B. c d e f g a h, so heisst die Tonleiter eine *harte*. Schreiten dagegen vom Grundtone hinaufwärts die Töne so fort, dass die erste Terz eine kleine $= \frac{6}{5}$, die zweite und dritte aber grosse, jede also $= \frac{5}{4}$ ist, wie z. B. a h c d e fis gis, so nennt man die Tonleiter eine *weiche* ([12]).

Anmerkung. Wer sich über den Charakter der verschiedenen Tonarten belehren will, dem empfehlen wir namentlich folgende Schriften: Hand: Ästhetik der Tonkunst Th. I. (Leipzig, Hochhausen und Fournes. 1837.) S. 216 ff. — Pet. Jos. Schneider: Die Musik und Poesie, nach ihren Wirkungen historisch-kritisch dargestellt u. s. w. (Bonn, Georgi. 1835.) 2 Thle. s. bes. Th. I. S. 285 ff. — Seidel: Charinomos. Beiträge zur allgem. Theorie u. Gesch. d. schönen Künste (Magdeburg, Rubach. 1825. 1828.) 2 Bde. s. bes. Bd. II. S. 87. 105 ff.

§ 48.

3. *Dauer des Klanges.*

Wie überhaupt jeder Schall, so hat auch insbesondere jeder Klang eine längere oder kürzere Dauer. Bei einer Folge mehrerer Klänge kommt nun sowohl die Dauer jedes einzelnen an sich, als auch ihr gegenseitiges Verhältniss in Hinsicht derselben in Betracht. Die erstere kann man die *absolute*, die letztere die *relative* nennen. Jene heisst in der Musik das *Tempo*. Die verschiedenen Grade seiner Langsamkeit oder Schnelligkeit pflegt man durch gewisse Kunstwörter zu bezeichnen. Die Reihenfolge dabei vom Langsamen zum Schnellen ist nach Fink's ([1]) Angabe folgende:

12) Vgl. *W. Weber*: Akust. S. 5 f.
1) Musikal. Gramm. S. 68. vgl. *Falkmann*: Declamatorik Bd. I. S. 81.

Largo — gedehnt, abgemessen.
Larghetto — etwas weniger gedehnt.
Lento — schleppend.
Grave — schwer.
Adagio — langsam.
Andantino — etwas gehend.
Andante — gehend (mit mancherlei Beiwörtern).
Allegretto — etwas munter und leicht.
Moderato — mässig.
Allegro — munter, lebhaft (mit vielen Beiwörtern).
Vivace — feurig, lebendig.
Vivacissimo — sehr feurig und lebhaft.
Presto — flüchtig und schnell.
Prestissimo — so schnell und flüchtig als möglich.

Da diese Bezeichnungen aber sehr unbestimmmt sind, so wurde schon längst das Bedürfniss eines zuverlässigen Maassstabes gefühlt. Man hat dazu, schon seit dem XVII. Jahrhundert, allerlei Maschinen, unter den Namen *musikalische Zeitmesser*, *Chronometer*, *Rhythmometer*, *Metrometer*, *Metronom*, *Taktmesser*, *Taktuhren*, *Taktweiser*, *Tempoweiser* u. dergl. vorgeschlagen ([2]). — Desto bestimmter dagegen wird die *relative* Dauer in unserer Notenschrift bezeichnet, da durch dieselbe aufs Genaueste angegeben wird, um wie viel ein Ton länger oder kürzer als ein anderer sei.

---

2) S. das Weitere hierüber in *G. Weber*: Theorie d. T. I. S. 88—94. — *Koch*: mus. Lex. u. d. W. Rhythmometer S. 1253 ff. u. *G. F. Stöckel*: »Über die Wichtigkeit der richtigen Zeitbewegung eines Tonstücks, nebst einer Beschreibung meines musikalischen Chronometers und dessen Anwendung«, in d. Leipz. Allgem. musik. Zeitung. II. Jahrg. Junius 1800. Nr. 38. S. 657—666. Nr. 39. S. 673—679., und desselben Aufs.: »Noch ein Wort über den musikalischen Zeitmesser«, in welchem er seinen verbesserten musikalischen Chronometer und dessen Anwendung beschreibt, a. a. O. VI. Jahrg. Oct. 1803. Nr. 4. S. 49—55. — Einen andern kurzen Aufs. über diesen Gegenstand findet man a. a. O. V. Jahrg. July 1803. Nr. 43. S. 705—707. — S. *Fink*: musik. Gramm. S. 69 f. Vgl. auch den von *Scheibler* bei seiner Stimmung angewandten und von ihm abgebildeten Pendel, welchen er deshalb *Stimm-Metronom* nennt, in s. Schrift: »Über mathemat. Stimmung, Temperaturen und Orgelstimmung.«

Für die mit diesen drei Quantitätsarten des Klanges sich beschäftigenden Wissenschaften hat man besondere Namen gebildet. Die Lehre von der Stärke desselben hat man *Dynamik*, die von der Höhe *Melodik*, die von der Dauer *Rhythmik* genannt.

Anmerkung. Die Erfindung der Noten, jedoch ohne Bezeichnung der Zeitdauer, schreibt man gewöhnlich dem Benediktiner-Mönche Guido aus Arezzo (daher Guido Aretinus genannt) im XI. Jahrhundert zu, so z. B. Koch: mus. Lex. u. d. W. Noten S. 1072. Allein R. G. Kiesewetter verwirft diese Annahme als irrig in s. Schrift: »Die Verdienste der Niederländer um die Tonkunst.« (Sie ist nebst der denselben Gegenstand in französ. Sprache behandelnden Schrift von F. J. Fétis unter dem gemeinsamen Titel: »Verhandelingen over de Vraag: Welke Verdiensten hebben zich de Nederlanders in de 14e, 15e en 16e Eeuw in het Vak der Toonkunst verworven; en in hoe verre kunnen de nederlandsche Kunstenaars van dien Tijd, die zich naar Italien begeven hebben, invloed gehad hebben op de Muzijkscholen, die zich kort daarna in Italien hebben gevormd?« zu Amsterdam bei Müller u. Comp. 1829. gedruckt, s. d. Rec. beider von Ig. Fr. Edler von Mosel in d. Wiener Jahrb. der Literatur. Bd. LXX. 1835. April. May. Juny. S. 94 — 135.). — Was die Bezeichnung der Zeitdauer der einzelnen Töne anbelangt, so glaubte man lange, dass Joannes de Muris (Jean de Mûrs) im XIII. Jahrhundert (der Referent von Kiesewetter's genannter Schrift, in d. Leipzig. Allgem. musikal. Zeitung Jahrg. XXXII. Juny 1830. Nr. 24. S. 386., gibt statt dessen mit Bestimmtheit die erste Hälfte des XIV. Jahrh. an) die Notenpunkte in Vierecke von verschiedener Form verwandelt, diesen verschiedenen Formen der Noten eine gewisse Zeitdauer bestimmt, und dadurch den Grund zu der Bezeichnung des musikalischen Zeitmaasses gelegt habe. Neuere Forscher dagegen haben gezeigt, dass die Erfindung der Mensural-Noten (d. h. derjenigen, welche ausser der Höhe des Tones zugleich dessen Dauer anzeigen) älter sei. Mehrere von ihnen schreiben sie einem Deutschen aus Cöln, Namens Franco, zu (s. Koch a. a. O. S. 1072.), weil dieser, so viel man bis jetzt weiss, zuerst das Zeitmaass des Tones systematisch abgehandelt hat in seiner nunmehr bekannt gemachten Schrift: »Musica et ars cantus mensurabilis.« Nach

den bisherigen Angaben lebte dieser in den Jahren 1047—1080 (der zuvor erwähnte Referent sagt a. a. O. S. 386., er habe wahrscheinlich in der ersten Hälfte des XIII. Jahrh. gelebt). Da dieser jedoch in der genannten Schrift von dem Zeitmaasse wie von einer Sache spricht, die schon mehrern Schriftstellern *vor* ihm bekannt gewesen (s. Kiesewetter's zuvor erwähntes Werk u. d. Rec. dess. in d. Wiener Jahrb. a. a. O. S. 97.), so haben Andere jene Annahme als noch zweifelhaft bezeichnet, so Friedr. Dionys Weber in s. Allgemeinen theoretisch-praktischen Vorschule der Musik (Prag, b. Marco Berra. 1828.) S. 21.; oder sie entschieden verworfen und den eigentlichen Erfinder als zur Zeit noch unbekannt erklärt, so G. W. Fink in d. Recens. des eben genannten Weber'schen Werkes, in d. Leipz. Allgem. musik. Zeitung. XXXII. Jahrg. May 1830. Nr. 19. S. 294 f.

Register.

(In Betreff der hierbei gebrauchten Abkürzungen bemerke ich nur, dass *A. Ausdruck*, *Einfl. Einfluss*, *gew. gewisse*, *K. Körper*, *N. Note*, *s. sein* oder *siehe*, *Schw.*, *Schwing. Schwingung*, *schw.*, *schwing. schwingend*, *Urs. Ursache*, *W. Wort* bedeutet. Eine Linie (—) ist theils Stellvertreter des Hauptwortes eines Artikels, theils bloss zur Absonderung der verschiedenen Einzelheiten eines Artikels angewandt. Welches von beiden an den einzelnen Stellen damit bezeichnet sei, so wie das Verständniss der übrigen Abkürzungen lehrt der Zusammenhang.)

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

I.

J.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

S.

48

T.

U.

V.

W.

Y.

Z.

Potsdam,
Druck des Decker'schen Geheimen Ober-Hofbuchdruckerei-Etablissements.

